

# ATS Ydintekniikka 4/1985

UUODEN 1985 KÄÄNTYESSÄ LOPUULLEEN		
	Heikki Raumolin	1
PUHEENJOHTAJAN PALSTA	Heikki Raumolin	2
LOVIISAN POLTTOAINESELVITYKSET, TAVOITTEET JA TILANNE	Heikki Väyrynen	4
KÄYTETYN POLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUS TURVALLISTA	Teollisuuden Voima Oy	11
UUSI HAIHDUTUSJÄTTEIDEN KÄSITTELYMENETELMÄ	Martti Kätkä	18
MIKROBIOLOGIA YDINJÄTTEIDEN KÄSITTELYSSÄ	Esko Tusa	21
REWET-PROJEKTI	Timo Kervinen	23
LOSS-OF-FLUID (LOFT) -KOKEET YHDYSVALLOISSA	Seppo Kelppe	30
SÄTEILYTURVAKESKUKSEN VALVONTAOSASTO		34
ATS:N KOTIMAAN OPINTOMATKA 28-29.5.1985		42
KPA-varastotyömaa, Olkiluoto		44
Jack-Up -lautta, Rauma-Repola, Mäntyluoto		46
Länsirannikon Voima Oy, Tahkoluodon laitos		48
Lavian koereikä		50

# ATS YDINTEKNIikka

NUMERO

4/1985

JULKAISIJA

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

TOIMITUS

PÄÄTOIMITTAJA  
FT MIKKO KARA  
P. 90-6090553

IMATRAN VOIMA OY  
MALMINKATU 16  
00100 HELSINKI

ERIKOISTOIMITTAJA  
DI KLAUS SJÖBLÖM  
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

PUHEENJOHTAJA  
DI HEIKKI RAUMOLIN  
P. 90-605022

TEOLLISUUDEN VOIMA OY  
FREDRIKINKATU 51-53  
00100 HELSINKI

VARAPUHEENJOHTAJA  
DI HARRY VIHARIÄVAARA  
P. 90-648435

SÄHKÖTUOTTAJIEN YHTEISTYÖ-  
VALTUUSKUNTA (STYV)  
LÖNNROTINKATU 4 B  
00120 HELSINKI

SIHTEERI  
DI ESKO TUSA  
P. 90-6090846

IMATRAN VOIMA OY  
PL 138  
00101 HELSINKI

RAHASTONHOITAJA  
FK LEENA KATAJAPURO  
P. 90-4512826

TKK/KIRJASTO  
OTANIEMENTIE 9  
02150 ESPOO

JOHTOKUNNAN JÄSEN  
TKT ERKKI AALTO  
P. 90-6160250

IMATRAN VOIMA OY  
EERIKINKATU 27  
00180 HELSINKI

JOHTOKUNNAN JÄSEN  
TKL JUKKA LAAKSONEN  
P. 90-6167296

SÄTEILYTURVAKESKUS  
KALEVANKATU 44  
00180 HELSINKI

JOHTOKUNNAN JÄSEN  
TKT KARI TÖRRÖNEN  
P. 90-4565391

VTT/METALLILABORATORIO  
METALLIMIEHENKUJA 6  
02150 ESPOO

TOIMIHENKILÖT

YLEISSIHTEERI  
FK LAURI RANTALAINEN  
P. 90-6090949

IMATRAN VOIMA OY  
PL 138  
00101 HELSINKI

KANSIÄL. YHTEYKS. SIHT  
DI KLAUS KILPI  
P. 90-4564148

VTT/E-OSASTON KANSLIA  
VUORIMIEHENTIE 5  
02150 ESPOO

EKSKURSIOSIHTEERI  
DI PERTTI SALMINEN  
P. 90-648931

VTT/YDINVOIMATEKNIIKAN LAB.  
LÖNNROTINKATU 37  
00180 HELSINKI

ATS-INFO PUHEENJOHTAJA  
TKT SEPPÖ VUORI  
P. 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.

## VUODEN 1985 KÄÄNTYESSÄ LOPUILLEEN

Seuramme entinen puheenjohtaja Paavo Holmström totesi katsauksessaan ATS-Ydintekniikkaan 4/82 odottavansa vuonna 1983 maamme ydinvoiman kohdalla jonkinlaista jäidenlähtöä. Hän ei odottanut mitään rajua jäämassojen irtiryöstäytymistä, vaan pikemminkin säännötellyn vesistön hiljaista jäiden häviämistä, joka tapahtuu kuin luonnon pakosta ajan ollessa kypsä.

Katsoessani nyt taaksepäin vuosia 1983-1985 voin todeta, että tosi sitkasta on ollut tämä jäidenlähtö. Luonnon pakko, vieläpä kylmän talven 1985 ja happosateidenkin vauhdittamana, on näyttänyt ilmeiseltä. Edistymistä on tapahtunut, mutta kuitenkin jää on vielä paksua ja takatalvi vaanii jatkuvana peikkona. Vuonna 1986 seuramme täyttää 20 vuotta. Uuden voimalaitoksen rakentamispäätös olisi komea juhlistus tälle merkkivuodelle.

Seuramme toiminta on jatkunut vakiintunein muodoin kuluneen kolmivuotiskauden aikana. Jäsenmäärä on kasvanut tasaisesti. Kuukausikokousten ja esitelmätilaisuuksien lisäksi seurassa on toiminut aktiivisia työryhmiä. Sanastotyöryhmän aherruksen tulokset saataneen pian jäsenistön arvioinnin ja kommentoinnin kohteiksi. Erityisen ilahduttavaa on ollut ATS-infon toiminnan kehittyminen. Ideoita tuntuu nyt olevan vaikka muille jakaa ja tuloksiakin on näkynyt. ATS-Ydintekniikka -lehden toimitus kehittää tarmokkaasti lehteämme. Ensi vuonna saatamme saadakin ATS-Ydintekniikan jopa uudennäköisenä.

ATS:n ulkomaan opintomatkat ovat aina toiminnan kohokohtia. Vuosien 1983-85 aikana tehdyt Neuvostoliiton ja Pohjois-Amerikan ekskursion olivat tavallista suurempia voimanponnistuksia, kun taas Keski-Euroopan (Tsekkoslovakia, Länsi-Saksa) matka seurasi tavanomaista linjaa. Kaikki onnistuivat erinomaisesti. Ensi vuonna pyritään Kiinaan. Valmistelut ovat jo alkaneet.

Päättyessäni kuluvan vuoden päättyessä kauteni Seuran puheenjohtajana haluan kiittää kaikkia Seuran jäseniä ja erityisesti johtokunnan jäseniä ja toimihenkilöitä hyvästä yhteistyöstä ja aktiivisuudesta. Toivotan ATS:lle ja kaikille sen jäsenille hyvää jatkoa vuodelle 1986.

  
Heikki Raumolin

Puheenjohtajan palsta

ATS:N OPINTOMATKAT 1985

ULKOMAAN OPINTOMATKA 17-26.10.1985

Seuramme tämän vuoden ulkomaan opintomatka suuntautui Tsekkoslovakiaan ja Länsi-Saksaan. Tavoitteena oli saada kuva sekä voimalaitosten rakentamisesta että käytöstä, mutta myös muusta ydintekniikasta. Matka täytti hyvin nämä tavoitteet.

Tsekkoslovakiassa kävi selvästi ilmi, että ydinvoimaa rakennetaan maahan jatkuvasti ja pitkäjänteisesti. Skodan tehtailla oli rakenteilla reaktoripaineastioita ja muita raskaita komponentteja niin paljon, että lännessä voidaan vain kadehtia tällaista työtilannetta.

Länsi-Saksassa puolestaan saimme selvästi taas muistutuksen siitä Suomessa usein vähemmälle huomiolle jääneestä tosiasiaista, että ydinenergia-ala suurissa maissa sisältää paljon muutakin kuin suoraviivaista voimalaitosten rakentamista, käyttöä ja polttoaineesta huolehtimista. Vuosina 1956-1984 Saksan liittotasavalta oli käyttänyt kaikkiaan 20 miljardia Saksan markkaa ydinenergia-alan tutkimukseen. Karlsruhen tutkimuskeskuksessa saimme pikasilmäyksen siihen, mihin rahaa menee. Eri kohteissa matkaa esiteltiin lisäksi eräs paljon rahaa vienyt kehityskohde, korkealämpötilareaktori. Sen polttoainekuulien valmistaminen Hanaussa oli todella uutta mielenkiintoista nähtävää.

Perinteistä ja uutta saksalaista osaamista nähtiin Gundremmingerin ja Bibliksen voimalaitoksilla sekä polttoainetehtailla Hanaussa. Useimmille meistä edusti uutta sekaoksidipolttoaineen valmistus ja siihen kuuluva plutoniumpitoisen materiaalin käsittely.

Saksalaisesta voimalaitostekniikasta on Suomessa vanhastaan hyvä käsitys. Matka vahvisti tätä vaikutelmaa. Uudempi ilmiö oli politiikan voimakas vaikutus päätöksiin, mikä korostui erityisesti Hessenissä, jossa Biblisiin uuden yksikön rakentamispäätös on lykätty poliittisista syistä epävarmaan tulevaisuuteen.

Seuran kotimaan opintomatka suuntautui tällä kertaa jälleen Suomeen. Viime vuonnahan kävimme Ruotsissa. Matkakohteina olivat Olkiluodon voimalaitos, käytetyn polttoaineen välivaraston rakennustyömaa Olkiluodossa, Rauma-Repolan Mäntyluodon tehtaot, Tahkoluodon voimalaitos ja Lavian koereikä. Matkan yhteydessä järjestettiin lisäksi Porissa seuran kuukausikokous.

Lyhyestä ajasta huolimatta osanottajat saivat monipuolisen kuvan suomalaisen energiahuollon nykytilasta. Ydinvoimalla tuotetaan sähköä hyvin. Ydinvoimalaitosten vuosiseisokit toteutetaan nopeasti ja tehokkaasti. Hiilivoimalaitoksiakin tarvitaan taas. Kunnallisilla päättäjillä on pohtimista ja vaihtoehtoja sähkön ja lämmön hankinnassa. Voimalaitosten toteutuspäätökset viiptyvät. Konepajat valmistavat öljynporauslauttoja vientiin, mutta voimalaitoskomponentteja ei ole tilattu. Polttoaine- ja jätehuolto vaativat toimenpiteitä. Tahkoluotoon rakennetaan syväsatama hiilikuljetuksia varten ja Olkiluotoon varastoa käytettyä ydinpolttoainetta varten. Ydinjätteiden loppusijoitus on etenemässä kirjoituspöydiltä ja laboratorioista maastotutkimuksiin.

Olipa sitä matkalla ohjelmaa kerrakseen. Järjestelyt sujuivat hyvin ja rutiinilla, mutta muutahan ei seuran kokeneelta ekskursionsihteeriltä voinut odottaakaan. Kiitoksia, Pertti Salminen! Ainoa pohtimista jatkossa aiheuttava seikka oli osanottajamäärän vähäisyys. Kotimaan opintomatkojen järjestäminen kaipaa uusia ideoita.

*Pertti Salminen*

H Väyrynen

15.11.1985

## LOVIISAN POLTTOAINESELVITYKSET, TAVOITTEET JA TILANNE

Tässä lehdessä on jo aikaisemminkin kosketeltu sitä ydinpolttoaineen tutkimusohjelmaa, jonka avulla IVO ja VTT tukevat Loviisan voimalaitoksen käyttöä, hankkivat omakohtaista tutkimuskokemusta ja taustatieto- ja VVER-polttoaineesta sekä ylläpitävät ja kehittävät sitä asiantuntemusta, jonka olemassaoloa voidaan pitää ydinvoiman käytön ja lisärakentamisen edellytyksenä.

Tutkimusohjelma muodostaa Suomen oloissa sen verran mittavan kokonaisuuden sekä kestollaan, budjetillaan että henkilöresurssivarauksillaan mitattuna, että sen edistymisen raportointi ATS tiedottaa - lehden lukijoille on paikallaan.

## Lähtökohdat

Lähtökohdan tutkimusohjelmalle muodostivat jo v 1979 IVO:n, VTT:n ja STUK:n tekemät johtopäätökset käytävissä olleesta Loviisan voimalaitoksen polttoaineen suunnitteluaineistosta. Erilliset hankkeet, joita ryhdyttiin käynnistämään, koottiin v 1981 IVOssa yhtenäiseksi ohjelmaksi, jonka edistymisestä on voimalaitoksen lupaehtojen mukaisesti raportoitu määräajoin STUK:lle.

Ongelma-alueita oli kolme:

1.

## Suunnittelutiedot

Tarkasteltaessa toimitettua ennakkotarkastusaineistoa Suomessa noudatettavien tarkastuskriteerien valossa, oli useiden tarkastusvaatimusten yksikäsitteisessä täyttämässä vaikeuksia. Onnettomuusanalyysien lähtötiedoissa jouduttiin tämän takia tekemään osittain **erittäin** konservatiivisia oletuksia. Analyysitulosten seurauksena ei kuitenkaan ole tarvinnut asettaa oleellisesti laitoksen käyttöä rajoittavia ehtoja. Polttoaineen rakenteelliset ja valmistustekniset erot länsimaisiin konstruktioihin verrattuna ovat sen verran merkittäviä, että lähinnä VTT:llä olevan länsimaisen tietoaaineiston ja laskentamenetelmien soveltaminen on ollut vaikeata luotettavien tulosten saamiseksi. Neuvostoliitossa on tutkimustyö ilmeisesti myös viime vuosina keskittynyt uudemmalla tablettien valmistustekniikalla tuotettuun polttoaineeseen. Tätä teknologiaa ei vielä sovelleta Loviisassa.

2. **Laadunvarmistus**  
 Neuvostoliiton sisäiset järjestelyt ja määräykset ovat ilmeisesti esteenä ulkomaalaisten pääsyyllä polttoaineen valmistukseen osallistuville tehtaille. Tämä on asettanut suomalaisen kekseliäisyyden koetukselle, kun on yritetty löytää keinoja hyväksyttävän laadunvarmistuksen tason saavuttamiseen.
3. **Käyttöominaisuuksien seuranta**  
 Käyttökokemusten vaihto muiden OVER-laitosten kanssa on vähäistä, ja polttoaineen toimittajaorganisaatioilla ei ole sellaista käytönseurantaohjelmaa, josta he pystyisivät raportoimaan IVOLle. Omin toimenpitein on näinollen pystyttävä varmistumaan polttoaineen käyttäytymisestä suunnitteluasiakirjoissa oletetulla tavalla. Samalla voi tarjoutua mahdollisuuksia **em konservatiivisuuksien vähentämiseen.**

Tässä artikkelissa kerrotaan lyhyesti meneillään olevista ja loppuun saatetuista tutkimus- tai kehityshankkeista, lukuunottamatta erilaisia kirjallisuusselvityksiä, lujuu tarkasteluja, spesifikaatiouudistuksia tms pienempiä töitä. Myöskään laadunvarmistusmenettelyihin ei tässä puututa.

#### Käytetyn polttoaineen tarkastukset

Studsvik Energiteknik Ab:ssä teetetyistä yhden polttoainepun kuumakammio tutkimuksista on kerrottu yksityiskohtaisesti jo tämän lehden numerossa 1/84. Tutkimustulokset vahvistivat polttoainetoimittajalta saatuja tietoja sekä antoivat entistä selkeämmän kuvan sauvassa säteilytyksen aikana tapahtuvista muutoksista (uraanidioksiditablettien paisunta ja halkeilu sekä uudelleensijoittuminen, suojakuoren viiruminen ym). Tulokset tukivat jo Loviisassa tehdyissä tarkastuksissa saatua käsitystä siitä, että suojakuoren ja polttoaineen välinen mekaaninen vuorovaikutus alkaa ehkä jo ennen ensimmäisen käyttövuoden loppua huolimatta reaktorin alhaisesta lineaaritehostosta.

Yksi polttoainesauva jätettiin Studsvikiin ainetta rikkovia tutkimuksia varten, kun muu osa nippua koottiin ja palautettiin Loviisaan. Tämä lisäohjelma saatiin päätökseen keväällä -85. Siinä suoritettiin  $UO_2$ :n tiheysmittauksia, suojakuoren materiaalitutkimuksia, tablettien gammakartoituksia, mikroskooppitarkastuksia sekä metallo- ja keramografisia tarkastuksia.

Loviisan uudessa käytetyn polttoaineen varastossa otettiin alkuvuodesta käyttöön käytetyn polttoaineen tarkastuslaitteisto. Laite täydentää aikaisempia tarkastusmahdollisuuksia, joissa on käytetty vedenalaisia TV-kameroita esim sauvojen pituusmittauksiin. Se on suunniteltu IVOssa ja suomalaiset konepajat ovat toimittaneet sen mekaaniset komponentit. Ohjaus- ja tietojenkeruujärjestelmät ovat IVO:n rakentamia. Ensimmäinen polttoainenipun tarkastus suoritettiin onnistuneesti kesällä -85. Siinä tarkastettiin polttoaine-elementin ja itse sauvanipun kunto ja mittamuutokset. Tämä edellyttää nipun suojavaipan poistoa sekä uudelleenkiinnitystä, minkä suunnittelu ja toteutus oli vaativa koneteknillinen tehtävä. Esimerkkejä mittausten tulostuksista on oheisessa kuvassa. Nipun kunto oli hyvä ja kaikki havainnot odotusten mukaisia.

Yhteenveto IVO:n omista kokemuksista käytetyn polttoaineen tarkastuksissa on suunnilleen seuraava:

- Sauvojen pituuskasvu on merkittävää, joskaan ei poikkeuksellista. Se viittaa suojavaikon ja polttoainepatsaan väliseen kosketukseen, joka on otettu huomioon reaktorin sallittuja tehonmuutosnopeuksia määrätessä.
- Muut muodonmuutokset ovat vähäisiä, esim sauvanipun geometria säilyy erinomaisena.
- Sauvojen ulkopuolinen oksidoituminen ja crudin muodostus ovat erittäin vähäisiä esim moniin muihin PWR-laitoksiin tällä hetkellä verrattuna.
- Fissiokaasujen vapautuminen suojavaikon alle on vähäistä nykypalamalla.

#### Koesäteilytykset Kurtshatov-instituutissa

Moskovassa sijaitsevassa MR-reaktorissa on tämän vuoden syksyllä aloitettu IVO:n ja Kurtshatov-instituutin yhteinen koepolttoainenipun säteilytys.

Sen tavoitteena on saada uutta fysikaalista tietoa polttoaineessa tapahtuvista ilmiöistä reaktoriolosuhteissa sekä peruskuorma- että kuormanseurantakäytössä ja kehittää niiden avulla käytettävissä olevien laskentaohjelmien luotettavuutta ja tarkkuutta. Ohjelmaan kuuluu 4 - 8 nipun säteilytys. Ensimmäisiä koetuloksia käsitellään vuoden lopulla yhteisessä kokouksessa Suomessa.

IVO/VTT:n materiaalisena panoksena hankkeessa on ollut toimittaa polttoainesauvojen instrumentointi ja käytettävä tietojenkeruujärjestelmä oheislaitteineen



sekä eräitä sauvojen valmistuksessa tarvittavia laitteita mm elektronisädehitsauskone.

Tutkimusohjelman laatiminen, sauvojen esikarakterisointi ja tulosten käsittely ja raportointi tapahtuvat yhteisesti.

#### Koesäteilytykset Svierkin ydintutkimuskeskuksessa

IVO on liittynyt virallisesti kuluvan vuoden aikana jo vuodesta 1978 lähtien valmisteilla olleeseen neuvostoliittolais-puolalaiseen VVER-440 ja -1000 reaktorien polttoainetta koskevaan tutkimushankkeeseen. Siinä tutkitaan polttoaineen onnettomuuskäyttäytymistä ja eri hätäjähdytysvaihtoehtoja. IVO:n osallistuminen on rajattu kolmeen kokeeseen koko 80 kokeen sarjassa. Osallistumisen laajentamisesta neuvotellaan.

Tällä hetkellä projektissa on vielä rakennus- ja asennusvaihe menossa. Samalla aloitellaan kuitenkin esikokeita sähkölämmitteisellä koeloopilla. Varsinaiset reaktorikokeen alkavat v -87.

IVO/VTT:n panos on samantapainen kuin em MR-kokeissa. Materiaalisena panoksena ovat kolmen sauvanipun instrumentit, eräät koeloopin erikoismittalaitteet sekä nopeatoimisia erikoisventtiilejä ym.

Lokakuussa pidettiin IVOssa ensimmäinen kolmen osapuolen seminaari, jossa käsiteltiin seikkaperäisesti koelaitteiston suomia mahdollisuuksia ja koeohjelmaa. Seminaarin osallistui runsaasti suomalaisia tutkijoita VTT:sta, LTKK:sta, STUK:sta ja IVOsta.

#### Maksimipalaman nostaminen

Loviisan reaktorien sydämem pienentäminen aikanaan lähes 10%:lla johti siihen, että vuosihuollot pyrkivät vuosi vuodelta ajoittumaan yhä aikaisemmiksi. Jakson pidentämiseen pyritään mm siirtymällä vähävoittoiseen lataustapaan. Tällöin sekä tehojakautuman epätasaisuus jakson alussa että suurimmat nippujen poistopalamat kasvavat nykyisestä.

Tähänastisten kokemusten mukaan ei ole tiedossa mitään seikkoja, jotka välittömästi alkaisivat uhata polttoaineen käyttökelpoisuutta esim tiiveyden tai onnettomuuskäyttäytymisen osalta. Oman varmennuksen saamiseksi asialle jätettiin Lo 2 sydämeen viime revisiossa yksi polttoainennippu neljänneksi vuodeksi normaalin kolmen vuoden säteilytyksen jälkeen. Tar-

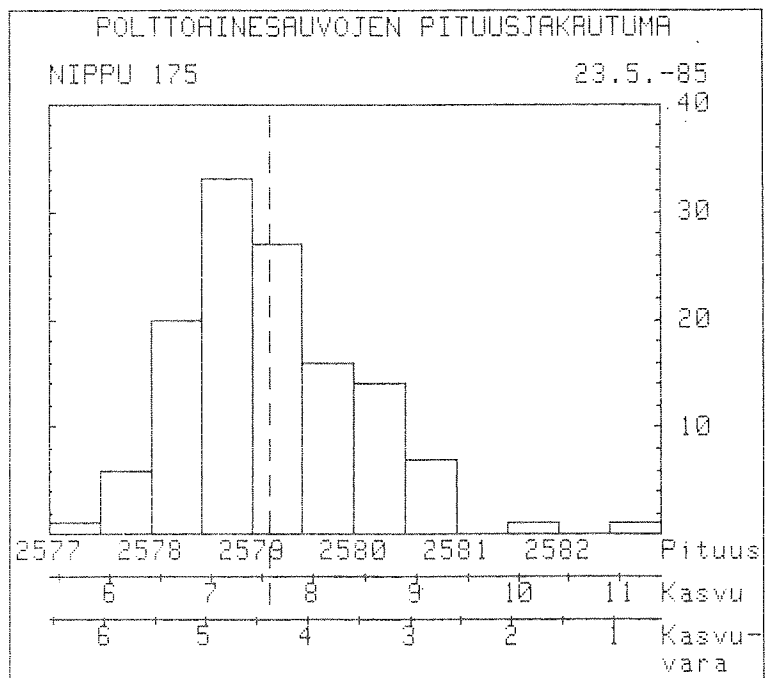
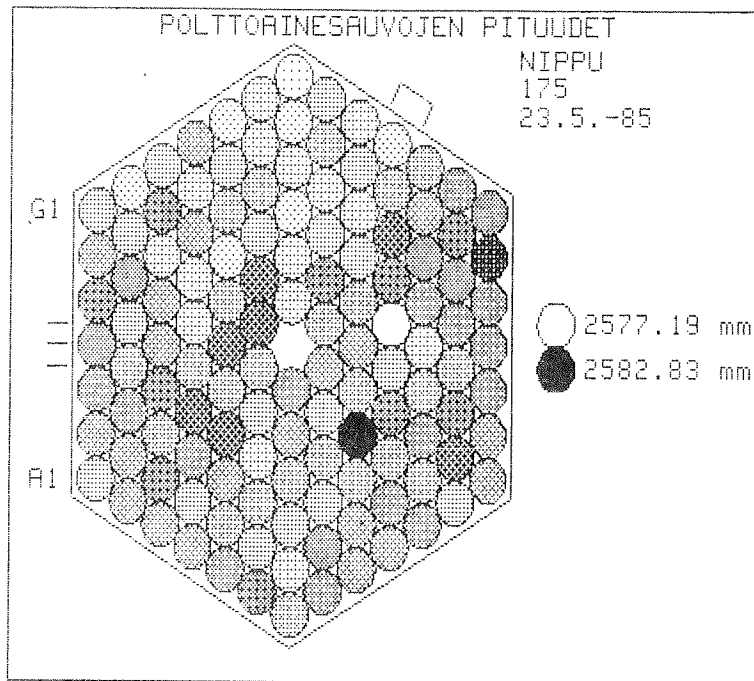
koitus on tutkia sitä edellä kuvatulla uudella tarkastuslaitteistolla, jota pyritään mahdollisuuksien mukaan täydentämään ensi kesään mennessä. Samalla irroitetaan mahdollisesti muutama sauva kuumakammiotutkimuksia varten.

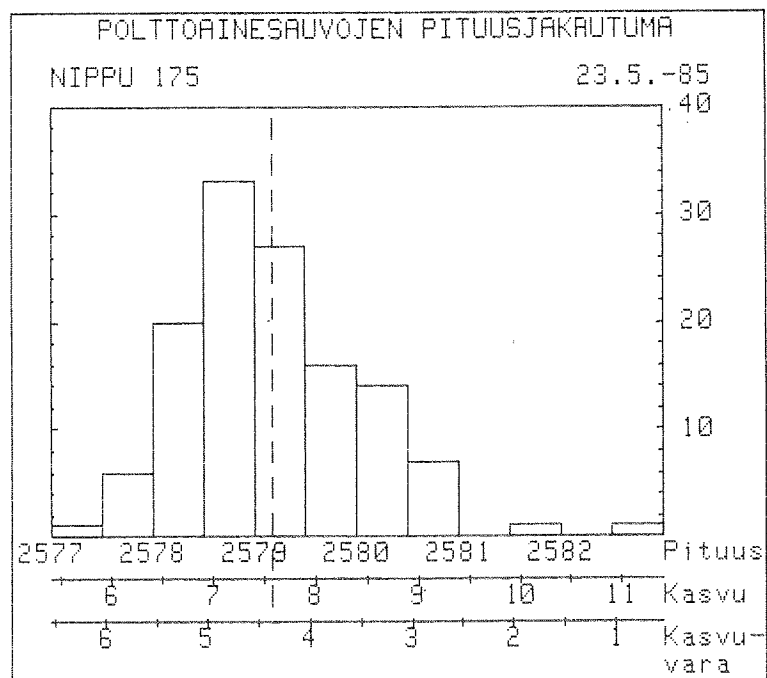
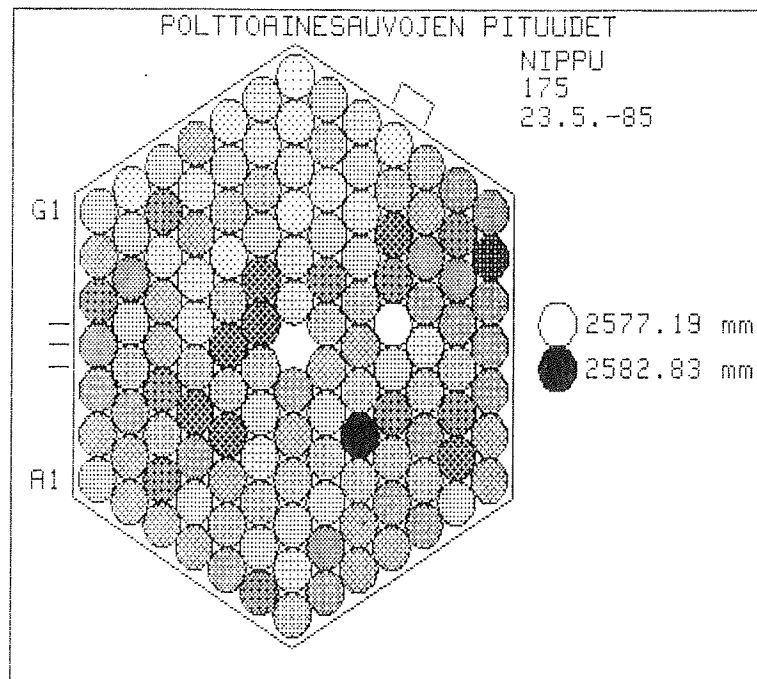
#### Ohjelman toteutus

Koska kyseessä on neuvostoliittolaisvalmisteisen polttoaineen tutkiminen, on luonnollista kytkeä suunnitteluorganisaatiot ja tutkimuslaitokset SNTL:n puolelta mukaan. Samoin polttoaineen takuusiin, käyttöön ja palauttamiseen liittyvien asioiden kannalta on hyvä saada ko asiantuntijat jo alusta saakka informoiduiksi ja keskustelukumppaneiksi. Toisaalta teknis-tieteellinen yhteistyö ei kuulu polttoaineen toimittajan V/O Atomenergoexportin toimialaan. Tämän takia kaikki merkittävät hankkeet, myös ne, joita ei toteuteta SNTL:ssä, on liitetty osaksi Kauppa- ja teollisuusministeriön ja Neuvostoliiton atomienergian valtionkomitean yhteistyöpöytäkirjan mukaista työtä.

IVO on suomalaisena sopijaosapuolena tai muuten vastuullinen kaikissa hankkeissa. VTT:n asiantuntijapanos, tietokoneohjelmat ja kansainväliset yhteydet ovat keskeisiä kaikkien hankkeiden toteutuksessa. STUK on toiminut lähinnä epävirallisena neuvonantajana IVO:lle ja VTT:lle projektien tavoitteita ja ohjelmia suunniteltaessa.

Erityspiirteiden hankkeille antaa toimiminen idän ja lännen välissä. Kansainvälisen kaupan embargo-rajoi-  
tuksiin on tällöin kiinnitettävä jatkuvaa huomiota.





7.11.1985

1 (6)

## KÄYTETYN POLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUS TURVALLISTA

TVO:N KÄYTETYN POLTTOAINEEN HUOLTO ETENEE -  
UUSI TURVALLISUUSANALYYSI VALMISTUNUT

Teollisuuden Voima on torstaina 7.11.1985 jättänyt kauppa- ja teollisuusministeriölle ajan tasalle saatetut käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuusselvitykset sekä alustavan suunnitelman kapselointilaitoksesta. Teollisuuden Voima saattaa kuluvan vuoden loppuun mennessä ajan tasalle vuonna 1982 tehdyn kokonais selvityksen käytetyn polttoaineen huollon teknisistä ratkaisuksista ja turvallisuudesta. Teknisten selvitysten ajan tasalle saattaminen vuoden 1985 loppuun mennessä sisältyy valtioneuvoston vuonna 1983 tekemään periaatepäätökseen ja voimalaitoksen käyttölupaehdointiin. Nyt valmistuneen turvallisuus selvityksen tulosten perusteella voidaan katsoa, että käytetty polttoaine voidaan turvallisesti loppusijoittaa Suomen kallioperään.

Ajan tasalle saattaminen

Vuoden 1982 marraskuussa Teollisuuden Voima julkisti soveltuvuustutkimuksen, jonka mukaan käytetty polttoaine voidaan turvallisesti loppusijoittaa Suomen kallioperään. Tutkimus kävi läpi lausuntokierroksen ja oli osaltaan pohjana, kun valtioneuvosto vuonna 1983 myönsi uudet käyttöluvat Olkiluodon voimalaitosyksiköille. Nyt valmistunut selvitys perustuu valtioneuvoston periaatepäätökseen vuodelta 1983 ja käyttölupaehdointiin, joiden mukaan Teollisuuden Voiman on saatettava ajan tasalle vuoden 1985 loppuun mennessä tekniset suunnitelmat käytetyn polttoaineen loppusijoituksesta.

Keskeisimmät muutokset ja lisätyöt vuoden 1982 jälkeen ovat:

Käytetyn polttoaineen kokonaismäärä on nostettu laitoksen hyvän käytettävyyden ja suoritettun tehonkorotuksen vuoksi 1270 tonniin uraania (ennen 1200 tU).

Kapselimateriaalina käytetään edelleen kuparia. Kapselin seinämä on 10 cm paksu ruotsalaisen KBS-3-selvityksen mukaisesti (ennen 20 cm:n seinämä KBS-2:n mukaisesti)

Kapselointilaitos on suunniteltu uudestaan erityisesti Teollisuuden Voiman tarpeita vastaavaksi. Aikaisemmin nojaututtiin enemmän ruotsalaisiin suunnitelmiin.

Loppusijoitustilasuunnitelmia on tarkistettu uutta kapselia ja kapselimäärää (noin 900 kpl) vastaaviksi. Perusratkaisu on entinen: käytetty polttoaine sijoitetaan noin 500 m:n syvyyteen louhittavien tunnelien pohjaan porattaviin reikiin. Kapseli erotetaan peruskalliosta täyteaineella, joka on bentoniitti-nimistä luonnonsavea.

Turvallisuusarvio on laadittu kokonaan uudestaan. Laadinnassa on otettu huomioon vuoden 1982 analyysistä saadut kokemukset, kotimaiset ja ulkomaiset tutkimustulokset ja mallien kehitystyö sekä ulkomailla tehdyt analyysit. Kotimaisissa tutkimuslaitoksissa tehdyn kokeellisen ja teoreettisen työn lisäksi tiedon lähteenä on ollut muun muassa kansainvälinen Stripa-projekti. Huomattavimmat ulkomaiset kokonaisanalyysit ovat vuonna 1983 julkaistu KBS-3-raportti, joka kävi läpi laajan kansainvälisen lausuntokierroksen ja jonka perusteella Ruotsin hallitus antoi latausluvat

Forsmarkin ja Oskarshamnin laitoksyksiköille, ja vuonna 1985 Sveitsissä julkaistu kokonaisraportti (NAGRAN Project Gewähr), joka on parhaillaan lausuntokierroksella.

### Turvallisuus ja moninkertaiset leviämisesteet

Käytetty polttoaine sisältää reaktorista ottamisen jälkeen vielä noin 96 % uraania, noin 1 % plutoniumia ja noin 3 % korkea-aktiivisia jätteitä. Loppusijoitushetkellä 40 vuotta reaktorista poistamisen jälkeen polttoaineen aktiivisuus on enää yksi tuhannesosa poistamishetken aktiivisuudesta. Lämmöntuotto on vähentynyt vastaavasti.

Turvallisuusarviossa on huolellisesti käyty läpi eri mahdollisuudet, jotka voisivat aiheuttaa säteilystä ihmiselle. Käytännöllisesti katsoen ainoaksi mahdolliseksi aiheutumistieksi on todettu radioaktiivisten jäteaineiden kulkeutuminen pohjaveden mukana ihmisen elinympäristöön. Loppusijoituksen turvallisuus perustuu moniin perättäisiin leviämisesteisiin. Sijoituspaikaksi valitaan ehjä kalliolohko, jossa pohjaveden liikkuminen on vähäistä. Veden täytyy tunkeutua ensin täytesaven läpi, syövyttää sitten kuparikapseli, syövyttää kapselin sisällä lyijytäyte ja polttoainesauvan suojakuori ja liuottaa tämän jälkeen jäteaine uraanista, joka ydinpolttoaineessa on hyvin niukkaliukoisessa muodossa. Sen jälkeen veteen liuenneen jäteaineen on kulkeuduttava saven läpi, edelleen kallion läpi ja lopuksi luonnossa jouduttava ihmisen ympäristöön, ravintoon tai juomaveteen. Jokaisessa kulkeutumisen vaiheessa jäteaineet pyrkivät jäämään pois vedestä, sillä savi ja kallio suodattavat pohjavettä.

Koko turvallisuusarvio on laadittu ydinenergia-alalla yleisesti käytetyn turvallisuusperiaatteen mukaisesti. Keskeisellä sijalla analyysissa on ilmiöiden ja tapahtumien vaikutusten arviointi matemaattisten mallien avulla. Mikäli ilmiötä tai lähtötietoja ei tunneta tarkkaan, valitaan sellainen malli tai lähtöarvo joka johtaa pessimistisempään lopputulokseen. Näin saadaan lopputulokseksi säteilyyannos, joka on suurempi kuin todellisuudessa aiheutuisi.

Nyt julkistetussa turvallisuusanalyysissä tarkasteltiin sellaisen perustilanteen lisäksi, jossa kaikki leviämiseesteet toimivat suunnitellulla tavalla, tapauksia, joissa jokin näistä ei olisi kunnossa. Tarkastelun kohteena oli, mitä vaikutuksia on, jos yksi kapseli rikkoutuu nopeasti, mitä vaikutuksia on, jos pohjaveden kemialliset olosuhteet muuttuvat pysyvästi hyvin epäedullisiksi ja mitä vaikutuksia on, jos ihmisten ruokailutottumukset muuttuvat tulevaisuudessa ratkaisevasti. Edelleen selvitettiin ns. häiriöanalyysissä, mitkä suuret luonnonmullistukset tai merkittävät ihmisen toimenpiteet voivat aiheuttaa useamman leviämisesteen rikkoutumisen. Tarkastelu tehtiin riskianalyysinä, jossa selvitettiin kunkin tapahtuman todennäköisyys ja sen aiheuttama terveysriski.

Tarkemmin tutkittiin jääkauden jälkeisen maankohoamisen aiheuttamaa kalliosiiirrosta, joka osuisi sijoitustilaan ja rikkoisi kapsелеita, tosin pienellä todennäköisyydellä, ja kallionäytekairauksen osumista suoraan loppusijoitettuun polttoaineeseen ilman että huomattaisiin kyseessä olevan radioaktiivista ainetta.

Lopputuloksena turvallisuusanalyysin kaikista tapauksista saatiin säteilyannokset tai riskit, jotka ovat murto-osa luonnon taustasäteilyn aiheuttamista. Kun näitä verrataan OECD:n ydinenergiajärjestön NEA:n asiantuntijoiden suositukseen, voidaan todeta, että riskit ovat hyväksyttäviä hyvällä marginaalilla. Suomen viranomaiset eivät ole vielä julkaisseet hyväksymisvaatimuksiaan.

Myös kapseloinnin ja loppusijoitustoiminnan turvallisuutta ennen sijoitustilojen sulkemista on tutkittu. Toiminta on hoidettavissa turvallisesti samoin periaattein kuin muu ydinlaitostoiminta.



### Loppusijoituksen kustannukset

Käytetyn polttoaineen kapseloinnin ja loppusijoituksen kustannukset ovat vuoden 1985 rahanarvon mukaan laskettuina noin 2100 milj. mk. Suurimmat kustannuserät tulevat kapselointilaitoksen rakentamisesta ja käytöstä. Sähkön hintaan vaikutus on alle 1p/kWh. Nämä kustannukset kerätään jo nyt sähkön hinnassa varauduttaessa ydinjätehuollon tuleviin kustannuksiin.

### Tutkimukset ja raportointi

Käytetyn polttoaineen kapselointia ja loppusijoitusta koskevat tutkimukset kuuluvat osana Imatran Voima Oy:n ja Teollisuuden Voima Oy:n yhteisen Voimayhtiöiden ydinjätetoimikunnan tutkimusohjelmaan. Käyttölupaehtojen mukaan vuosittaiset tutkimusohjelmat on esitetty kauppa- ja teollisuusministeriölle. Turvallisuusanalyysin on tehnyt VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorio. Tutkimuksiin ovat osallistuneet mm. Geologian tutkimuskeskus, VTT:n reaktorilaboratorio, VTT:n metallilaboratorio, VTT:n geotekniikan laboratorio, Helsingin yliopiston radiokemian laitos, Teknillisen korkeakoulun louhintatekniikan laboratorio, Imatran Voima Oy ja Saanio & Laine Oy. Vuosina 1983-85 käytetyn polttoaineen kapselointiin ja loppusijoitukseen liittyvät tutkimuskustannukset olivat yhteensä n. 5 milj. mk.

Nyt raportoitu turvallisuusanalyysi on esitetty kahdessa VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion tekemässä useasatasivuisessa raportissa. Ne on julkaistu Voimayhtiöiden ydinjätetoimikunnan raporttisarjassa samoin kuin eri tutkimuslaitoksissa tehdyt osaselvitykset. Teollisuuden Voima on laatinut parikymmen-sivuisen yhteenvetoraportin sekä turvallisuusanalyysistä että kapselointilaitos- ja loppusijoitustilasuunnitelmista. Kaikki raportit ovat julkisia ja saatavissa Teollisuuden Voimasta.

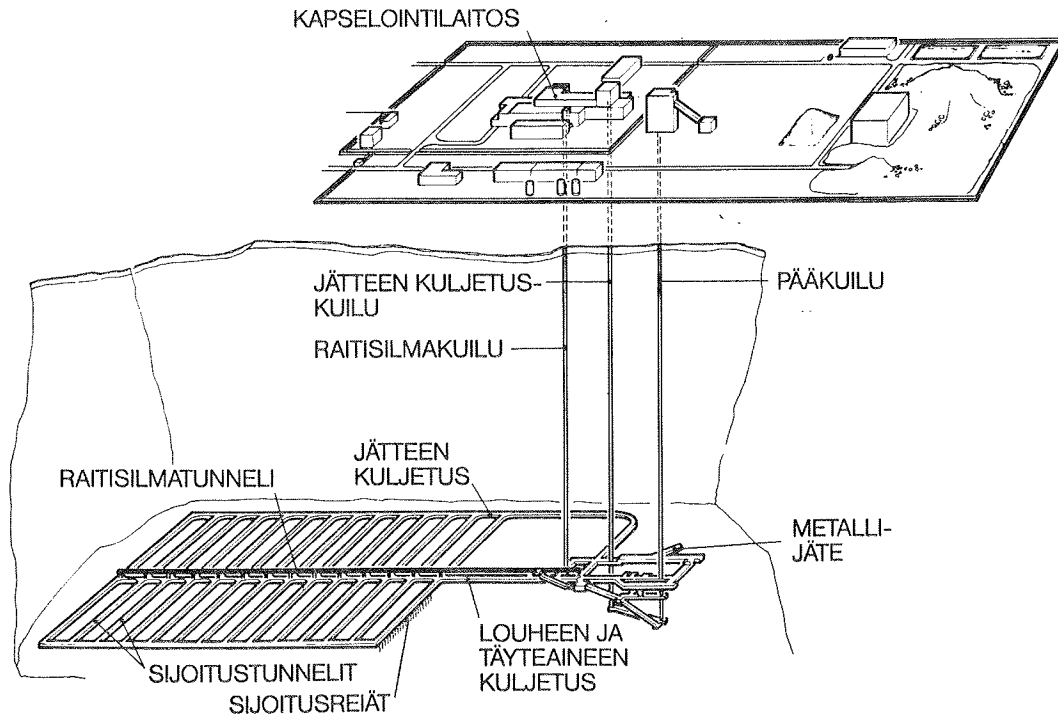
Käytetyn polttoaineen huoltovaihtoehdot

Valtioneuvoston vuonna 1983 asiasta tekemän periaatepäätöksen sekä voimalaitosten käyttölupeehtojen määräysten mukaisesti Teollisuuden Voima selvittää korkea-aktiivista ydinjätettä sisältävän käytetyn ydinpolttoaineen osalta kahta vaihtoehtoa mahdollisuutta:

- käytetty polttoaine tai sen sisältämä jäte toimitetaan pysyvästi ulkomaille
- kaikki huoltotoimenpiteet tehdään Suomessa.

Suomessa tehtäviin toimenpiteisiin kuuluvat pitkäaikainen välivarastointi ja loppusijoitus syvälle kallioperään. Erillinen välivarasto on rakenteilla Olkiluotoon. Nyt valmistunut loppusijoituksen teknillisten suunnitelmien ajan tasalle saattaminen on osa pitkäjänteisestä tutkimusohjelmaa, jota ohjaavat periaatepäätöksen tavoitteet.

## KÄYTETYN POLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUSTILAT



Käytetty ydinpolttoaine sijoitetaan 500 metrin syvyyteen kallioperään. Sijoitustila ei ole kooltaan suuri, kaikki Teollisuuden Voiman voimalaitosyksiköiden toimintansa aikana tuottama käytetty polttoaine sopii noin 400 m x 500 m kokoiselle alueelle peruskallion uumeniin.

UUSI MENETELMÄ LOVIISAN HAIHDUTUSJÄTTEIDEN TILAVUUDEN  
PIENENTÄMISEKSI PILOT-PLANT-VAIHEESSA

Loviisan ydinvoimalaitoksen käytön aikana syntyy kahden tyyppisiä nestemäisiä jätteitä: käytettyjä ioninvaihtohartseja ja haihdutusjätteitä. Ioninvaihtohartseja on kertynyt syksyyn 1985 mennessä vajaat  $75 \text{ m}^3$  ja laitoksen käyttöiän aikana niitä on arvioitu kertyvän yhteensä  $430 \text{ m}^3$ . Hartsit on suunniteltu kiinteytettäväksi betoniin erityisten sylinterimuotoisten betoniastioiden sisään loppusijoittamista varten. Ennen kiinteyttämistä hartseja säilytetään suurissa  $300 \text{ m}^3$ :n säiliöissä, joita on varattu hartseja varten kolme kappaletta. Säiliötilaa riittää näin ollen hartseille laitoksen koko käyttöiän ajaksi.

Haihdutusjätteitä varastoidaan myös  $300 \text{ m}^3$ :n säiliöissä. Syksyyn 1985 mennessä säiliöihin on kertynyt haihdutusjätteitä noin  $540 \text{ m}^3$ . Haihdutusjätteitä on arvioitu kertyvän  $80 \text{ m}^3$  vuodessa, jolloin laitoksen käytön päätyttyä niitä on yhteensä noin  $2400 \text{ m}^3$ . Haihdutusjätteitä varten on varattu neljä säiliötä, joten säiliötila ei tällaisenaan riitä koko käyttöiän aikana kertyville jätteille. Haihdutusjätteet on suunniteltu kiinteytettäväksi betoniin betoniastioiden sisään samalla tavalla kuin hartsitkin. Aloittamalla kiinteyttäminen 1990-luvun alkupuolella voidaan huolehtia siitä, että säiliötila riittää myös haihdutusjätteille koko laitoksen käyttöiän ajaksi.

Uutena haihdutusjätteiden tilavuuden pienennysmenetelmänä on tutkittu kesiumin (Cs-134 ja Cs-137) erottamista jäteliuoksesta. Mikäli kesium voitaisiin erottaa haihdutusjätteistä, jäljelle jäisi vain lyhytikäisiä radionuklideja. Näiden aktiivisuus alenee jo muutaman vuoden säiliövarastoinnin jälkeen niin alhaiseksi, että haihdutusjätteet voidaan laskea mereen normaalien päästörajojen puitteissa.

Helsingin yliopiston Radiokemian laitoksella suoritettujen laboratoriokokeiden perusteella lupaavimmaksi erotusmenetelmäksi osoittautui haihdutusjätteiden suodattaminen

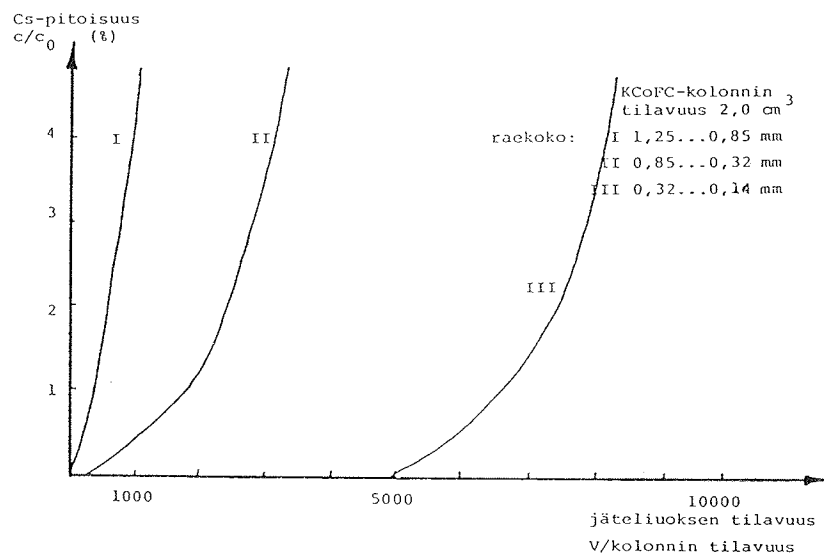
raemaisella ioninvaihtomassalla, kaliumkربولttiferrosyanidilla. Kyseisessä reagenssissa on kaksi kidefaasia, 85 %  $K[CoFe(CN)_6]$  ja 15 %  $Co[CoFe(CN)_6]$ , joista nimenomaan kalium vaihtuu kesiumiksi.

Laboratoriokokeiden jälkeen Loviisan laitoksella aloitettiin viime kesänä kokeet, joissa haettiin suunnitellulle pilot-plant-laitteistolle optimaalisia toimintaparametreja. Kokeissa haihdutusjäte pumpattiin alhaalta ylöspäin pienen lasiputken läpi, joka oli täynnä reagenssia. Kokeissa tutkittiin reagenssin raekoon, ioninvaihtokolonnin mittojen ja haihdutusjätteen virtausnopeuden vaikutusta kesiumin erotuskykyyn. Kokeiden tuloksena saaduista läpimurtokäyristä on esimerkki kuvassa 1. Kuvasta on havaittavissa, että paras tulos saavutettiin hienojakoisimmalla reagenssilla (raekoko 0,14... 0,34 nm). Kesiumia alkoi tulla läpi vasta, kun kolonnin läpi oli johdettu tilavuudeltaan 5000-kertainen määrä haihdutusjätettä reagenssin tilavuuteen verrattuna. Kun läpimurto oli alkanut, nousi kesiumin pitoisuus kolonnin läpäisessä nesteessä varsin jyrkästi.

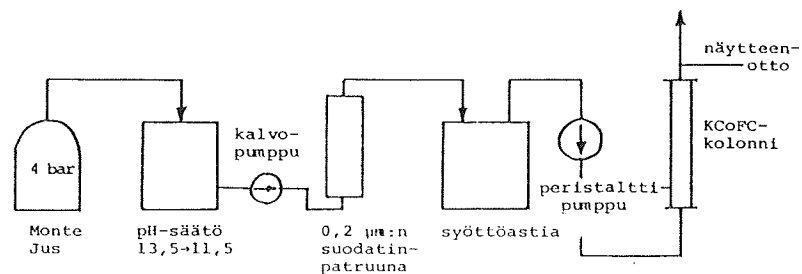
Optimointikokeiden perusteella on Loviisassa aloitettu pilot-plant-kokeet, jotka ovat parhaillaan käynnissä. Pilot-plant-laitteiston kaaviokuva on esitetty kuvassa 2. Haihdutusjäte johdetaan malla paineellaan laitoksella olevasta Monte Jusista pH:n säätötankkiin. Haihdutusjätteen pH:ta joudutaan alentamaan lisäämällä siihen väkevää typpihappoa, koska reagenssin ioninvaihtokyky laskee, mikäli pH on liian korkea. Kun pH on säädetty 11,5:een, pumpataan haihdutusjäte kalvopumpulla 0,2  $\mu$ m:n esisuodatinpatruunan läpi syöttöastiaan. Esisuodatus on tarpeellinen, koska haihdutusjätteessä oleva sakka voi tukkia ioninvaihtokolonnin käytettäessä hienojakoista reagenssia. Syöttöastiasta haihdutusjäte pumpataan tarkalla ja hidastoimisella peristalttipumpulla kolonnin läpi. Pilot-plant-laitteistossa on kaliumkربولttiferrosyanidia 85 g, joka vastaa tilavuudeltaan 0,138 litraa. Tällaisen reagenssimäärän läpi voidaan laskea 250...700 litraa haihdutusjätettä. Ioninvaihto on erittäin tehokas reaktio, eikä haihdutusjätteeseen jää kesiumia suodatuksen jälkeen.

Pilot-plant-kokeiden perusteella aloitetaan täysimittakaavaisen Cs- $\eta$  erotuslaitteiston suunnittelu Loviisan ydinvoimalaitoksella syntyviä haihdutusjätteitä varten ensi keväänä. Täysimittakaavaisella laitteistolla on tarkoitus käsitellä kaikki laitoksella syntyvät haihdutusjätteet. Alustavien koetulosten perusteella on odotettavissa, että haihdutusjätteistä jää jäljelle vain pari kuutiota keskiaktiivista ioninvaihtomassaa. Tämä on tarkoitus kiinteyttää muiden märkien jätteiden tavoin. Jatkossa tutkitaan käytettyjen reagenssien kiinteytysmenetelmiä.

Haihdutusjätteiden suuri tilavuuden pienennys (2000...7000-kertainen) säästää Loviisan ydinjätehuollon kustannuksia lähes 20 miljoonaa markkaa verrattuna nykyisiin kiinteytysuunnitelmiin. Lisäksi työntekijöiden ammatillinen säteilyaltistus pienenee, koska kiinteytettävät jätemäärät supistuvat haihdutusjätteiden osalta todella vähäisiksi.



Kuva 1 Esimerkki optinointikokeiden tuloksista



Kuva 2 Pilot-plant-laitteiston kaaviokuva

Esko Tusa

MATALA-AKTIIVISIA YDINVOIMALAITOSJÄTTEITÄ VOIDAAN KÄSITELLÄ MYÖS  
MIKROBIOLOGISELLA MENETELMÄLLÄ

Voimalaitoksen huoltotöiden yhteydessä syntyy melko paljon matala-aktiivista voimalaitosjätettä, joka sisältää orgaanisia aineita. Tällaista jätettä ovat mm. puu, paperi, kangas ja jopa muovit ja kumit. Nämä jätteet voivat hajota kemiallisesti mikrobiologisen toiminnan seurauksena.

Voimalaitosjätteen loppusijoitustila tulee aikanaan sijaitsemaan voimalaitosalueen kallioperässä. Ne olosuhteet, jotka vallitsevat kallioperässä, pystyvät ylläpitämään mikrobiologista toimintaa. Kun jäte alkaa hajota tällaisen toiminnan seurauksena, muodostuu kaasua, jolla voi olla haitallisia vaikutuksia loppusijoitustilassa. Jätteen hajotessa sen tilavuus pienenee.

Tällaisiin asioihin liittyvää tutkimustoimintaa on sisältynyt IVOn ja TVO:n yhteisen Voimayhtiöiden ydinjätetoimikunnan tutkimusohjelmaan vuodesta 1984 alkaen.

Ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin loppusijoituksen turvallisuuteen liittyvää kaasunmuodostusta. Tämän tarkoituksena oli varmistua siitä, että kaasua ei synny niin nopeasti niin suuri määrä, että se voisi aiheuttaa huomattavia muutoksia loppusijoitus-tilan ympäristöön. Lopputuloksen mukaan kaasunmuodostus ei tulisi olemaan ongelma. Tutkimuksen tekijä, Pollab Oy, esitti kuitenkin heti tutkimuksen alkuvaiheessa ajatuksen uuden jätteenkäsittelymenetelmän kehittämistä, jolla kaasu voitaisiin tuottaa hallitusti voimalaitosolosuhteissa ja samalla päästä eroon mahdollisesta ongelmasta. Samalla saataisiin loppusijoitettavan jätteen määrä pienemmäksi. Menetelmä ei sinänsä ole uusi, mutta sitä ei ole yleisesti sovellettu ydinvoimalaitoksen jätteiden käsittelyyn.

Vuoden 1985 alussa aloitettiin laboratoriotutkimukset jätteellä, joka ei sisällä radioaktiivisia aineita. Kokeissa käytetty jäte koostui voimalaitoksella käytettävistä materiaaleista, ja sen koostumus

saatettiin samanlaiseksi kuin jätteessä, joka on on voimalaitoksella lajiteltu hajoavaksi jätteeksi. Mukana oli tällöin noin 70 % paperi- ja pahvijätettä, alle 7 % muovia, noin 4 % puuta, noin 18 % kangasta ja alle 1 % muuta jätettä.

Laboratoriokokeilla haettiin sellaisia olosuhteita, joissa jäte hajoaisi nopeimmin mikrobiologisen toiminnan seurauksena. Kokeita suoritettiin sekä hapellisissa että hapettomissa olosuhteissa. Kokeissa selvitettiin jätteen tilavuuden ja painon vähentymistä ajan funktiona. Lisäksi tarkasteltiin jätteen eri osien hajoamista.

Pienimittakaavaisessa kokeessa hapellisissa olosuhteissa ei saatu tulokseksi riittävän nopeaa jätteen hajoamista. Pitkissäkin kokeissa jätteen tilavuus pieneni vain noin tekijällä 3 alkuperäiseen verrattuna. Hapettomissa kokeissa sen sijaan löydettiin olosuhteet, joissa suurin osa jätteestä saadaan hajoamaan lähes täydellisesti noin 20 päivässä. Kokeet päättyivät vuoden 1985 heinäkuussa.

Edellä kuvatuissa alustavissa selvityksissä mikrobiologinen käsittely todettiin potentiaalisesti jätteen käsittelymenetelmäksi, jolla tilavuus voitaisiin pienentää 5-10 %:iin alkuperäisestä. Samalla päästäisiin eroon lähes kokonaan mikrobiologisen toiminnan aiheuttamasta kaasusta.

Marraskuussa 1985 on aloitettu Loviisan voimalaitoksella pilot-plant-kokeet, joissa menetelmää testataan noin kahden kuutiometrin suuruisella biokaasun tuotantolaitteistolla. Kokeiden aikana tarkennetaan laboratoriokokeiden perusteella saadut jätteen hajoamiselle edulliset olosuhteet sekä hankitaan tarvittava kokemus isomman laitteiston käyttöön. Laitteistoa hoitaa Loviisan säteilysuojeluryhmä. Työ käsittää lähinnä erilaisten fysikaalisten ja kemiallisten parametrien tarkkailua. Voimalaitoksen kemian laboratorio suorittaa osan tarvittavista analyysistä.

Pilot-plant-kokeen on arvioitu kestävän noin kahdeksan kuukautta. Tavoitteena on saada kehitetyksi menetelmä, jolla kaikki biologisesti hajoava voimalaitosjäte voitaisiin käsitellä.

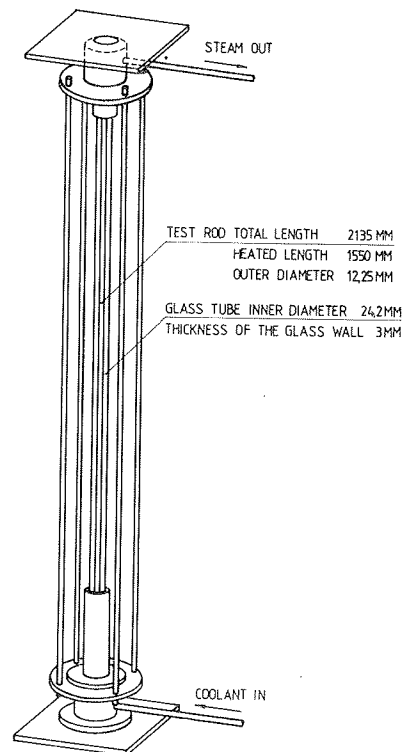


REWET-projekti: KOKEELLISTA YDINVOIMALAITOSONNETTOMUUS-  
TUTKIMUSTA SUOMESSA

JOHDANTO

VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorio on suorittanut yhteistyössä Lappeenrannan TKK:n kanssa reaktorisydämen jäähdytteenmenetysonnettomuuden (LOCA) kokeellista tutkimusta noin 10 vuoden ajan. Kokeiden tarkoituksena on lisätä uudelleenkastumisilmiön ja veden kaksifaasivirtauksen tuntemusta, havainnollistaa jäähdytteenmenetysonnettomuuden jälkeistä polttoainesauvojen uudelleenkastumista, tuottaa mittaustuloksia laskennallisten analyysien tueksi sekä tarkentaa käytössä olevia kokeellisia korrelaatioita. Koeohjelmissa kiinnitetään erityistä huomiota suomalaisten reaktoreiden erityispiirteisiin.

Projektin koetoiminta aloitettiin yhden koesauvan REWET-I laitteella 1976. Ensimmäiset sauvanippukokeet tehtiin REWET-II laitteella 1982. Vuonna 1984 laajennettiin koealuetta REWET-I ja -II laitteilla suoritetuista LOCA:n jälkeisen polttoainesauvojen uudelleenkastumisvaiheen kokeista luonnonkierto- ja sydämen pitkäaikaisen jäähdytyksen kokeisiin REWET-III laitteella.



Kuva 1. REWET-I laitteiston koeosa.

## REWET-I

REWET-I koelaitteen tarkoituksena oli havainnollistaa uudelleenkastumisilmiötä ja selvittää eri parametrien (paineen, lämmitystehon, jäähdytysveden määrään jne.) vaikutus uudelleenkastumistapahtumaan. Lisäksi laitteistolla vuosina 1976 - 1980 suoritetuista 200 kokeesta saatiin määritettyä lämmönsiirtokertoimen vaihtelu eri virtausalueilla ja selvitettyä jäähdytysveteen paineakuissa liunneen typpikaasun vaikutus koesauvojen jäähtymiseen.

REWET-I koelaitteiston koeosa tärkeimpine mittoineen on esitetty kuvassa 1 ja käytetyt koeparametrit taulukossa 1. Polttoainesauvasimulaattoreina REWET-I:ssa on käytetty kahta suorasti sähköllä lämmitettävää teräsputkea. Toisessa on ollut tasainen tehojakauma ja toisessa kosininmuotoinen tehojakauma. Teräsputken ja lasiputken muodostaman virtausalan hydraulinen halkaisija on ollut sama kuin VVER-440 polttoainesauvaan liittyvän virtauskanavan hydraulinen halkaisija.

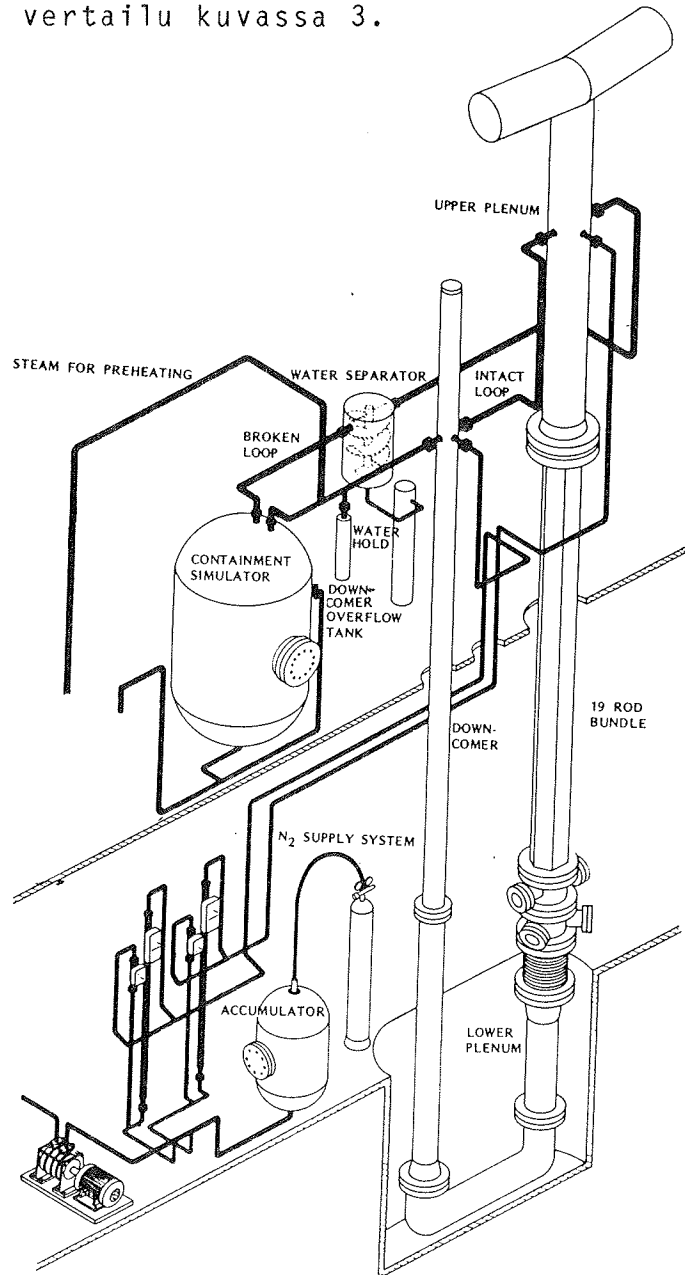
Taulukko 1. REWET-I kokeiden parametrien vaihtelualue.

	tasaisen teho- jakauman sauva	kosininmuotoisen tehojakauman sauva
Lämmitysteho (keskimääräinen lineaariteho)	3.2 - 10.3 W/cm	2.2 - 9.5 W/cm
Koeosan paine	100 - 350 kPa	100 - 400 kPa
Veden syöttö- nopeus, vastaava pinnan nousunopeus kyl- mässä virtaus- kanavassa	6.2 - 21.7 g/s	4.7 - 22 g/s
Jäähdytteen lämpö- tila sisäänmenossa	18 - 47 °C	27 - 68 °C
Koesauvan alku- lämpötila	529 - 700 °C	510 - 800 °C

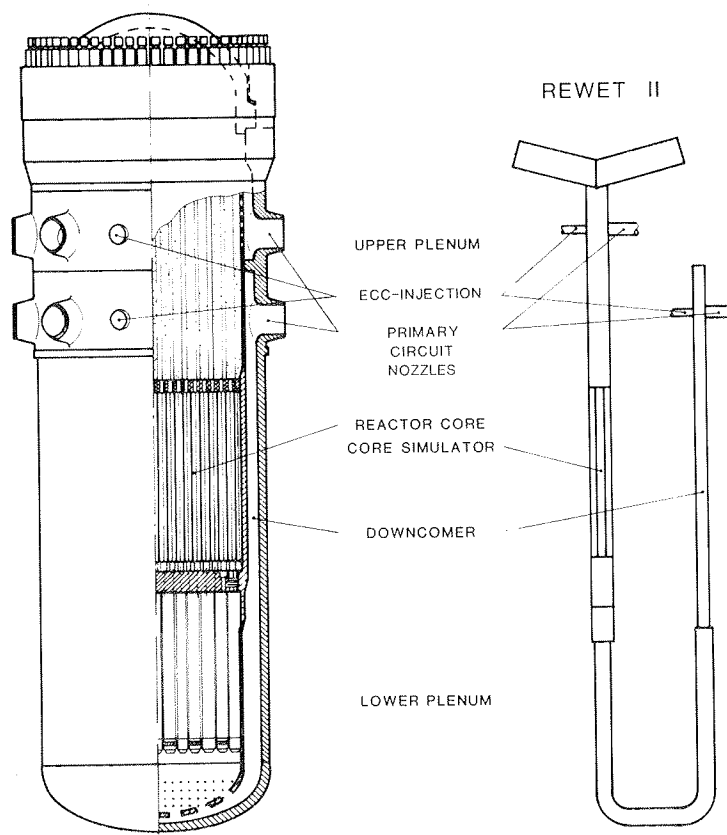
REWET-I laitteiston tarkempi esittely ja koetulokset on esitetty viitteissä /1/ ja /2/. REWET-I laitteisto on yhä toimintakuntoinen ja sitä käytetään demonstraatioesityksissä ja korkeakoulujen oppilastöissä

### REWET-II

REWET-I kokeista saadun kokemuksen pohjalta rakennettiin REWET-II laitteisto kuvaamaan Loviisan reaktorien termohydraulista käyttäytymistä hätäjähdytysvaiheen aikana. REWET-II laitteisto on esitetty kuvassa 2 ja laitteiston koesosan ja VVER-440 reaktorin vertailu kuvassa 3.



Kuva 2. REWET-II koelaitteisto.



Kuva 3. VVER-440 reaktori ja REWET-II laitteiston koeosa.

REWET-II laitteiston sydän muodostuu 19 epäsuorasti sähköllä lämmitettävästä polttoainesauvasimulaattorista. Simulaattorien kuorimateriaalina on ruostumaton teräs ja täyteaineena magneesiumoksidi. Kosinimuotoinen tehojakauma simulaattoreihin on saatu vastuslangan spiraalin nousua muuntamalla. Polttoainesauvasimulaattorit ovat kolmiohilassa ja ne on tuettu kymmenellä etäisyyskilalla. Koesauvojen ulkomitat ja etäisyydet ovat samat kuin vastaavat mitat reaktorissa. Laitteiston tärkeimmät toiminta-arvot on esitetty taulukossa 2.

Laitteiston eri osien korkeudet on pidetty samoina kuin reaktorissa, mutta tilavuudet on pienennetty sauvalukujen suhteella eli tekijällä  $1/2333$ . Reaktorin primaaripiiri on kuvattu koelaitteistossa ylätilan ja alasmienotilan yhdistävillä kahdella putkilinjalla, joista toinen simuloi yhtä rikkoutunutta piiriä ja toinen viittä ehjäksi jäävää piiriä. Häätäjäähdytysveden suihkutuspaiikat ovat alasmienotilassa ja ylätilassa.

## Taulukko 2. REWET-II koelaitteiston toiminta-arvot

Lämmitysteho	0 - 90 kW
Keskimääräinen lineaariteho	0 - 20 W/cm
Jäähdytteen syöttönopeus (pinnan nousunopeus kylmässä kanavassa)	0 - 15 cm/s
Koesauvojen suojakuoren korkein lämpötila	1000 °C
Jäähdytteen lämpötila	15 - 120 °C
Koeosan paine	0.1 - 1.0 MPa

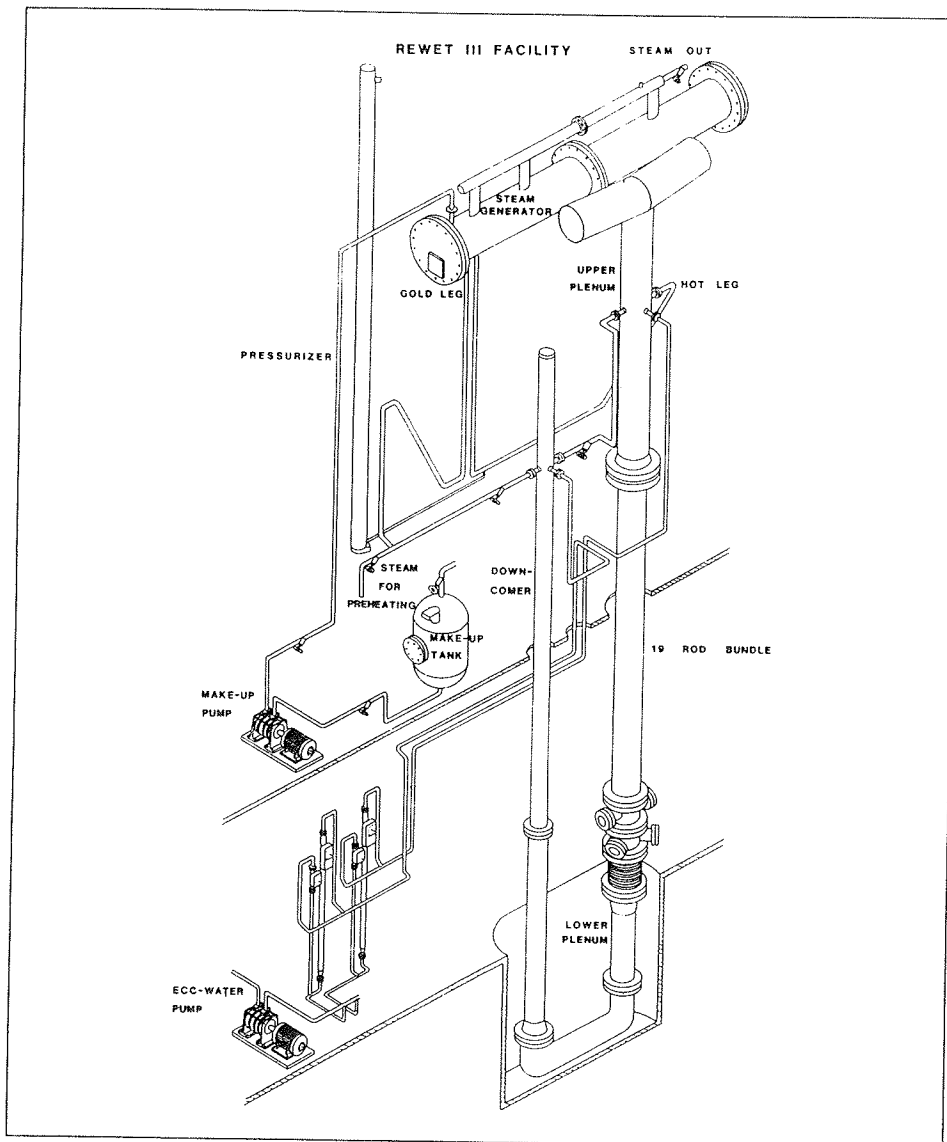
REWET-II laitteistolla on vuosina 1981-1984 suoritettu kolme koesarjaa (noin 100 koetta), joissa on selvitetty hätäjäähdytysveden ruiskutustavan sekä etäisyshilojen vaikutus uudelleenkastumistapahtumaan. Kokeita on laskettu NORCOOL-I, REFLOS ja FLOOD-4 ohjelmilla. Kokeet, koetulokset ja kokeiden tietokonelaskut on esitetty viitteissä /3, 4, 5, 6/.

## REWET-III laitteisto

REWET-III koelaitteiston suunnitteluajatuksena on ollut REWET projektin koealueen laajentaminen LOCA:n hätäjäähdytysvaiheen kokeista pitkäaikaisen jäähdytyksen ja pienen LOCA:n kokeisiin. Tätä varten REWET-II laitteiston primääripiiriä on muutettu liisäämällä siihen vesilukot, paineistin ja vaakasuoraan asennettu höyrystin (kuva 4). Laitteiston paineenkestävyys on nostettu 2.0 MPa:iin vaihtamalla kuusikulmainen suojaputki pyöreään.

Höyrystimen primääripuoli on kuvattu 12 päällekkäin makaavalla 8 m pitkällä U-putkella, joiden ulko- ja sisähalkaisijat sekä etäisyydet toisistaan ovat samat kuin simuloitavissa höyrystimissä. Sekundaaripuoli on kuvattu sisähalkaisijaltaan 40.8 cm olevalla putkella, jonka sivuseinät on täytetty sisäpuolelta niin, että sekundaaripuolen vesitilavuus on saatu suhteessa oikeaksi.

REWET-III laitteistolla on tehty yksi koesarja, jossa tutkittiin luonnonkiertojäähdytystä sekä kaksifaasilämmönsiirtoa höyrystimen primääripuolelta sekundaaripuolelle. Tulokset ja kokeiden SMABRE ja RELAP4/MOD6 laskut julkaistaan ensi vuoden alussa jos-sain kansainvälisessä kokouksessa.



Kuva 4. REWET-III koelaitteisto.

#### REWET-IV

Suoritettut kokeet REWET-I, -II ja -III koelaitteilla ovat herättäneet kansainvälistä kiinnostusta REWET-projektiin. Koetoimintaa jatketaan REWET-III laitteiston erilaisilla muunnoksilla. REWET-IV laitteistoa ei vielä ole, mutta uuden reaktoritermohydrauliikkakoelaitteiston rakentaminen on ajankohtainen viimeistään vuonna 1988, kun LTKK:n III rakennusvaiheen tiloihin valmistuu ydintekniikan termohydrauliikkatutkimukseen varattu laboratorio ja kun on saatu päätös tulevista uusista ydinvoimalaitoksista.

## Viitteet:

1. T. Kervinen, S. Jaakkola and L. Mattila: Reflooding Experiments in the REWET-I Single Pin Facility, Proceedings of the American Nuclear Society/European Nuclear Society. Topical Meeting of Thermal Reactor Safety, Knoxville, Tennessee, April 6-11, 1980, ss. 411-418.
2. T. Kervinen, S. Jaakkola and L. Mattila: Single Pin Reflood Experiments. Nuclear Engineering Laboratory of the Technical Research Centre of Finland. Report 49. Helsinki June 80.
3. T. Kervinen: Reflood experiments with simultaneous upper and lower plenum injection in the REWET-II rod bundle facility. Proceedings of the International Meeting on Thermal Nuclear Reactor Safety, ANS/ENS/CNS/JAES, Chicago, Aug. 29 - Sept. 2, 1982.
4. Kalli, H., Kervinen, T., and Hämäläinen, A., REWET-II facility for experiments on the loss-of-coolant accident in nuclear reactors. Acta Polytech. Scand. Ph 138, (1983), 66.
5. Kervinen, T., Hämäläinen, A., and Miettinen, J., Reflood experiments in the REWET-II rod bundle facility including comparisons with computer calculations. Proc. 2nd Int. Topl.Mtg. on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics. Santa Barbara, Jan. 11-14, 1983.
6. Kervinen, T., Purhonen, H., and Kalli, H., REWET-II experiments to determine the effects of spacer grids on reflooding process. 5th Int. Mtg on Thermal Nuclear Reactor Safety, Karlsruhe, Sept. 9-11, 1984.

11.11.1985

SYDÄMEN SULAMISONNETTOMUUS KOKEILTU LOFT-REAKTORILLA  
YHDYSVALLOISSA

Loss-of-Fluid (LOFT) -reaktorilla Yhdysvalloissa tehtiin heinäkuun 9. päivänä 1985 koe, jota on pidettävä merkittävimpänä ja olosuhteiltaan ankarimpana ydinpolttoaineen vaurioitumiskokeena mitä koskaan on toteutettu reaktoriolosuhteissa. Koe oli viimeinen LOFT-koelaitteistolla tehtyä pitkää koesarjasta ja johti sen reaktorisydämen osittaiseen sulamiseen.

Kokeessa simuloitiin onnettomuutta, jossa primääripiirissä oleva pieni tai keskisuuri vuoto aiheuttaa sydämen täydellisen paljastumisen. Lisäksi hätäjähdytyksen aloitusta viivästettiin. Nämä olosuhteet johtivat LOFT-reaktorin muusta sydäimestä suojavaipalla erotetun 100-sauvaisen nipun vähittäiseen ylikuumentumiseen. Noin 24 minuutissa koepolttoaineessa ylitettiin kokeen tavoitelämpötila  $1800^{\circ}\text{C}$ , jossa sauvojen suojakuorten hapettuminen eli nk. metallivesireaktio alkaa nopeasti kiihtyä. Sen seurauksena lämpötilat kohosivat nopeasti edelleen, kuten oli ennustettukin. Koenipussa esiintyi yli  $2200^{\circ}\text{C}$  lämpötiloja noin 4,5 minuutin ajan. Suuri osa polttoainesauvojen suojakuorimateriaalista hapettui, suuri osa fissiotuotteista vapautui polttoainesta ja kulkeutui primääripiiriin eri osiin ja sula suojakuorimateriaali liuotti uraanidioksidia. Koenippuun oli sijoitettu myös 11 säätösauvaa, joiden materiaali (Cd-In-Ag) melko alhaisissa lämpötiloissa sulavana muodostaa aerosoleja, jotka aiempien tutkimusten mukaan voivat edistää fissiotuotteiden siirtymistä sydänvaurioon johtavissa onnettomuusolosuhteissa. Sulan sydänmateriaaliseksi maksimilämpötila on saattanut olla yli  $2400^{\circ}\text{C}$ . Lämpötilamittaukset tällä alueella ovat melko epäluotettavia, joten lopulliset maksimilämpötilat selviävät vasta jälkitutkimuksissa.



Koe keskeytettiin käynnistämällä poiskytketty normaali häätäjäähdytysjärjestelmä manuaalisesti, jolloin osittain tuhoutunut sydän jäähdyi nopeasti ja tehokkaasti. Tältä osin koe ei tue ainakaan pessimistisimpiä sydämen jäähdytettävyyden menetysarvioita.

Kokeen yleinen kulku ja mm. sydämen eri osien kuumenemisnopeudet oli kyetty arvioimaan laskennallisesti varsin hyvällä tarkkudella huolimatta useista sydänkonstruktioon liittyneistä erikoispiirteistä.

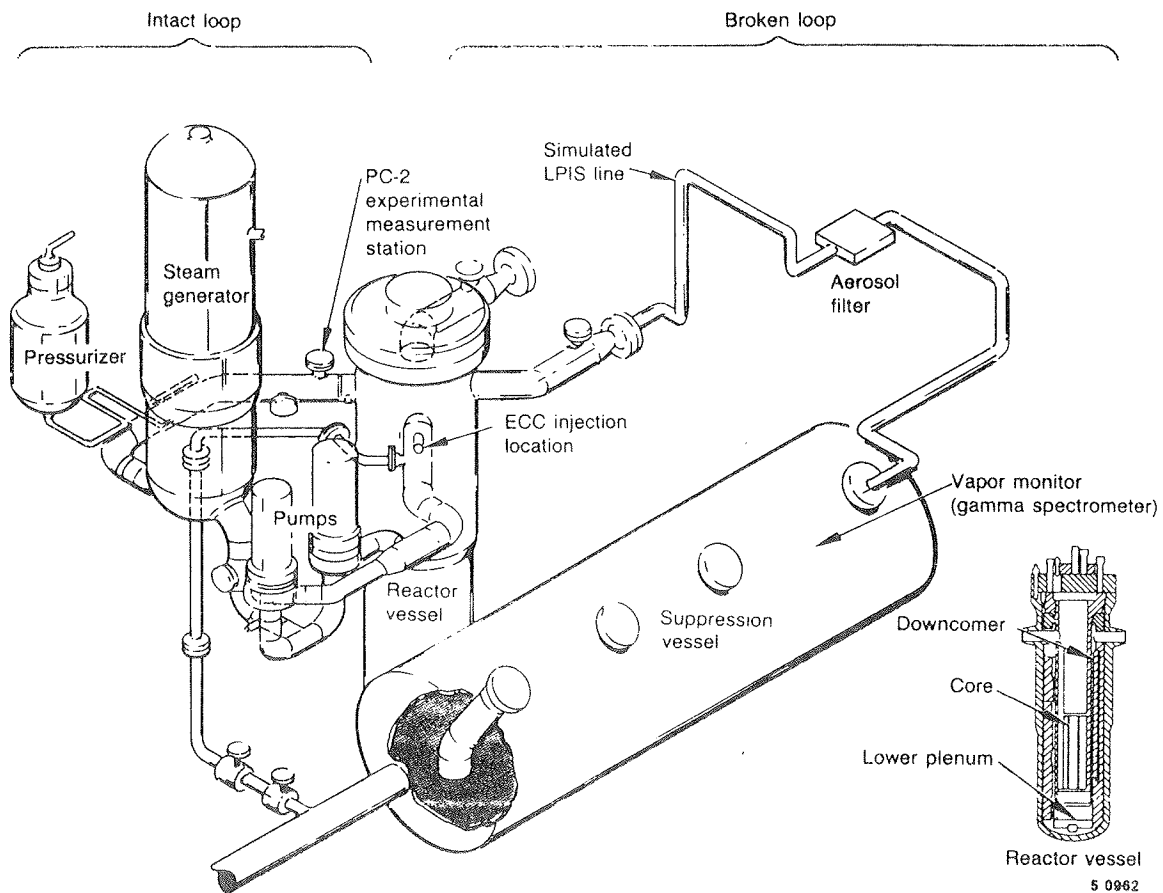
Reaktori oli varustettu runsaalla fissiotuotteiden kulkeutumista ja pidättymistä seuraavalla instrumentoinnilla. Näiden tulokset tulevat käyttöön täydellisinä vasta, kun aktiivisuustaso suojarakennuksessa on laskenut riittävästi ja laitteiston eri osiin päästään käsiksi. Suurimman osan instrumentoinnista on todettu toimineen odotetusti.

Kokeen tarkoituksena oli tuottaa tietoa fissiotuotteiden vapautumisesta ja kulkeutumisesta olosuhteissa, jotka voivat olla tyypillisiä sydämen vaurioitumiseen johtavassa vakavassa onnettomuudessa. Tietoa käytetään lisensointikriteerien arviointiin, radioaktiivisuuden mahdollisen vapautumisen määrän arviointiin sekä fissiotuotteiden vapautumista ja kulkeutumista kuvaavien tietokoneohjelmien testaamiseen ja kehittämiseen.

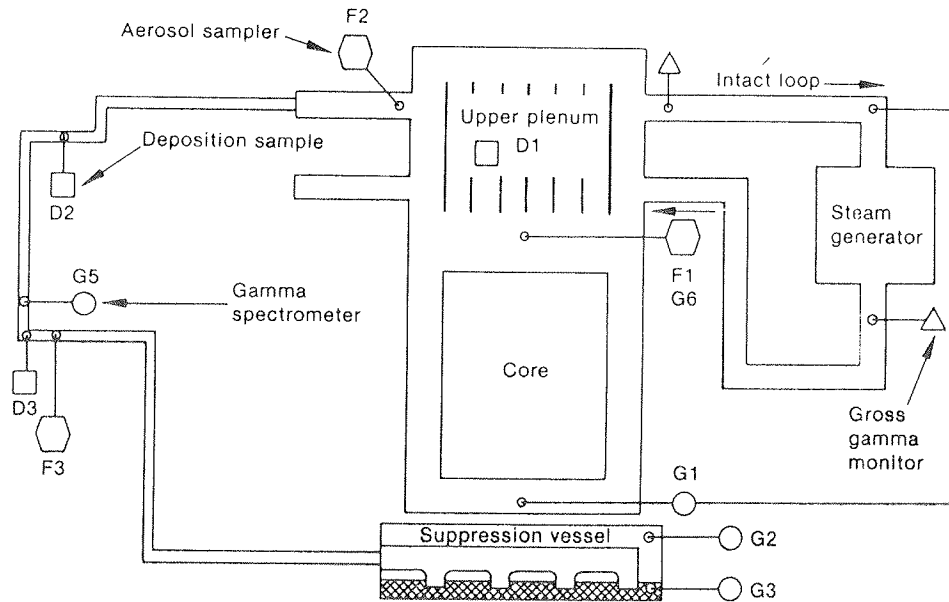
Tehty koe oli viimeinen OECD:n ydinenergiajärjestön NEA:n alaisuuteen kootun kansainvälisen ryhmittymän rahoittamasta ja ohjaamasta 10 kokeen sarjasta. Projektiin osallistuvat Yhdysvallat, Englanti, Saksan liittotasavalta, Japani, Italia, Ruotsi, Sveitsi, Espanja, Itävalta ja Suomi. Hankkeen kokonaiskustannukset ovat noin 100 milj. dollaria.

Idahon osavaltiossa sijaitseva LOFT-laitteisto sisältää lämpötehoaan 50 MW painevesireaktorin sekä kaikki olennaiset täysikokoisen voimalaitoksen osien vastineet. Laitoksella on tehty käyttöhäiriö- ja onnettomuustilanteiden kokeita vuodesta 1976, kaikkiaan 38 kappaletta. Suomi on ollut näissä mukana alusta alkaen. Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tutkijat ovat osallistuneet USA:ssa koeohjelman suunnitteluun ja tulosten käsittelyyn. Projektissa kehitettyjä ja koetulosten avulla testattuja tietokoneohjelmia käytetään Suomessa ydinvoimalaitosten turvallisuusvalvonnassa.

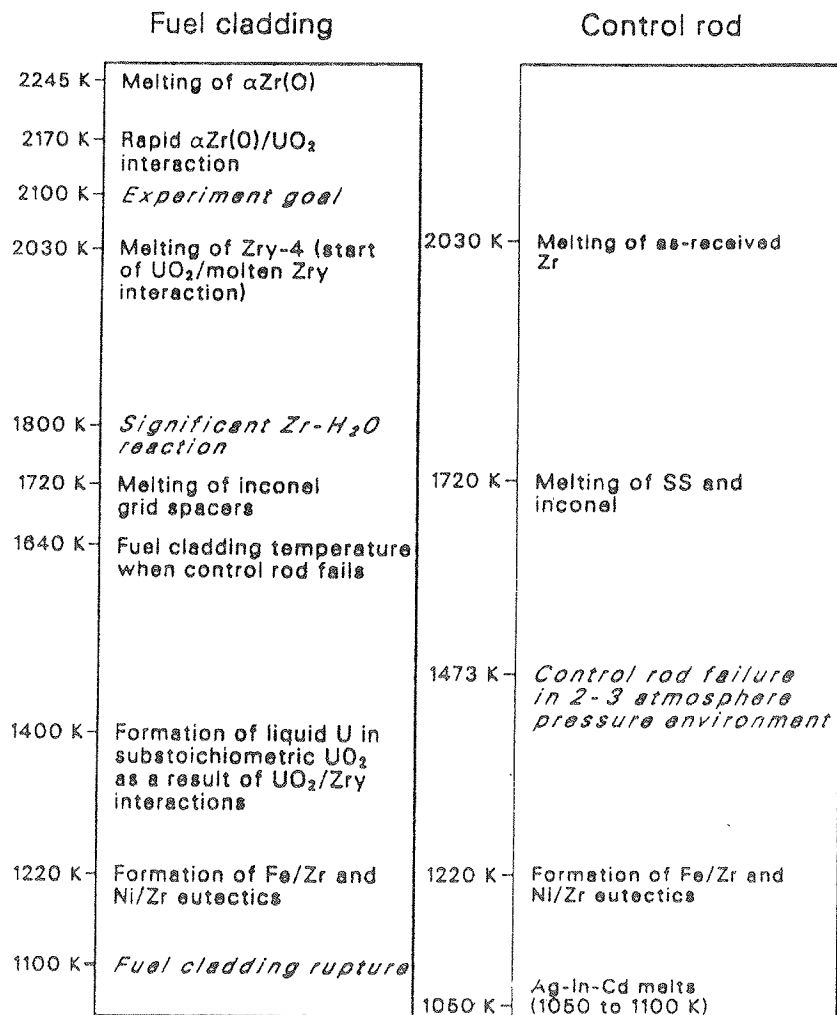
LOFT-laitteiston dekontaminointi ja käytöstä poisto aloitetaan lähitulevaisuudessa. Reaktori poistetaan suojarakennuksesta ja sijoitetaan väliaikaisvarastoon. Koeaseman rakennuksia tultaneen käyttämään tulevaisuudessakin.



Kuva 1. LOFT-laitteisto viimeisessä kokeessa (LB-FP-2)



Kuva 2. Sulamisonnettomuuskoeksessa käytetty primääripiirin fissiotuoteinstrumentointi.



Kuva 3. Kokeessa odotettu sydänmateriaalien käyttäytyminen

## SÄTEILYTURVAKESKUS - VIRANOMAINEN JA ASIANTUNTIJA

Säteilyturvakeskuksen toimintaa esittelevä sarja jatkuu. ATS:n numerossa 2/1985 esiteltiin ydinturvallisuusosaston ja numerossa 3/1985 tarkastusosaston toimintaa. Nyt on esittelyvuorossa säteilyturvakeskuksen valvontaosasto.

### VALVONTAOSASTO

Valvontaosaston päätoiminnot jakaantuvat kahteen tehtäväkenttään, luonnonsäteilyn ja keinotekoisien säteilyn tutkimiseen ja valvontaan.

Luonnonsäteily on peräisin lähinnä maaperässä olevista luonnon radionuklideista, joiden aiheuttama säteilyannos on eräillä alueilla erittäin korkea. Nykyisiin mittoihinsa luonnonsäteilyn tutkimus on laajentunut vähitellen, kun tieto luonnon radionuklidien aiheuttamien säteilyannosten suuruudesta on säteilydosimetrian kehittymisen ja asunnoissa suoritettujen radonmittausten myötä lisääntynyt.

Keinotekoisien säteilyn tutkimus ja valvonta sai alkunsa ydinkokeiden aiheuttaman laskeuman tutkimisena ja laajeni ydinvoimalaitosten myötä koskemaan koko ympäristömme keinotekoisien radionuklidien tutkimuksen ja valvonnan.

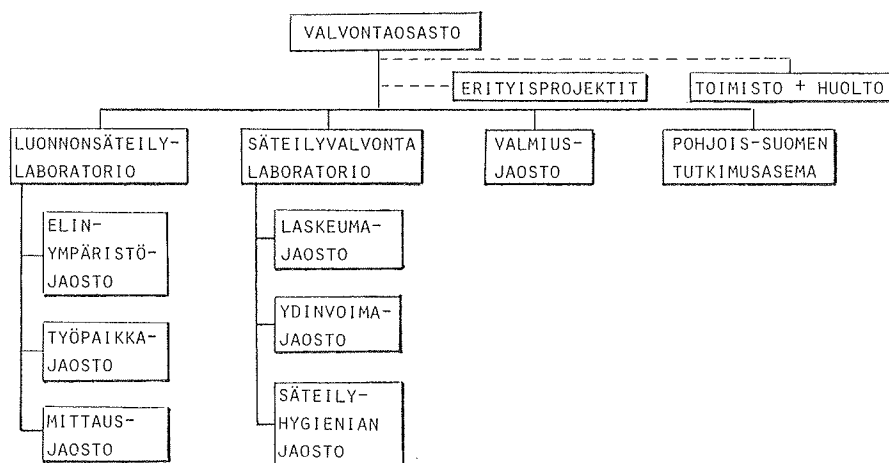
Luonnonsäteilyyn verrattuna tämä säteilytys on normaalioloissa varsin pientä. Keinotekoisien radionuklidien valvonnan eräs päätarkoitus on varautuminen poikkeusoloihin syventämällä tietoa keinotekoisien radionuklidien käyttäytymisestä elinympäristössämme. Tähän liittyviä tärkeitä tehtäviä ovat pelastuspalvelun edellyttämän valmiuden ylläpitäminen sekä äkillisen ydinlaskeumatilanteen seurauksien ennakoiminen ja tarvittavien vastatoimenpiteiden suunnittelu.

Valvontaosaston jako laboratorioihin ja jaostoihin esitetään kuvassa 1.

Valvontaosaston osoite on

Konalankuja 1-3 00390 Helsinki ja  
Pohjois-Suomen tutkimusaseman Louhikkotie 28  
96500 Rovaniemi.

Osastolla on henkilökuntaa yhteensä noin 70 henkilöä.



Kuva 1. Valvontaosaston jako eri toimintayksiköihin

## Luonnonsäteily

Luonnon säteilylähteistä peräisin olevaan säteilyaltistukseen kohdistuvat valvontatoiminnot on organisoitu siten, että työympäristöä ja elinympäristöä tarkastellaan erikseen.

Työympäristössä pääasiallisin säteilyaltistuksen aiheuttaja on hengitysilman radon. Kaivoksissa on radonia valvottu säännöllisesti vuodesta 1972 lähtien. Maanalaisilla työmailla on radonmittauksia suoritettu jonkin verran koko 70-luvun ajan pääasiallisesti työnantajan tilaamana. Henki-

löresurssien lisääntymisen myötä aloitettiin pari vuotta sitten tarkempi työpaikkojen radonpitoisuuksien inventointi, joka vielä jatkuu.

Elinympäristön tutkimus ja valvonta kohdistuu toisaalta suoraan radon- ja säteilyaltistukseen, toisaalta epäsuorasti niitä aiheuttaviin tuotteisiin, päästöihin ja jätteisiin.

Suurin säteilyrasituksen aiheuttaja myös elinympäristössä on huoneilman radon. Radonaltistuksen selvittämistä varten on kehitetty halpa ja helppokäyttöinen pitkän ajan pitoisuuskeskiarvoa mittaava dosimetri, jota käytetään sekä säteilyturvakeskuksen omissa tutkimuksissa että palvelumittauksissa. Asuntomittauksissa kertyvää tietoa käytetään hyväksi tutkittaessa eri tekijöiden vaikutusta huoneilman radonpitoisuuteen. Saatuja tietoja voidaan käyttää hyväksi esim. kaavoituksessa ja radonkriittisille alueille soveltuvien rakennustapojen kehittämisessä. Huoneilman radon aiheuttaa niin suuria säteilyannoksia, että niiden kartoittaminen on perusteltua myös mahdollisten terveydellisten vaikutusten tutkimuksen kannalta. Valtakunnallisten tutkimusten ja selvitysten lisäksi tehdään tilaustyönä alueellisia radonennusteita ja -selvityksiä.

Radonia voi tulla huoneilmaan myös radonpitoisesta talousvedestä, joka yleensä on peräisin kallioporakaivosta. Joitakin porakaivovesiä nautittaessa voivat radonin ohella muutkin luonnon radionuklidit aiheuttaa merkittäviä annoksia. Näiden analyysit ovat radonmittauksiin verrattuna suuritöisiä ja kalliita, ja niitä suoritetaan tarpeen vaatiessa.

Ihmisen altistumista selvittävän tutkimuksen ohella tutkitaan mm. uraanilouhinnan ja -rikastuksen ympäristövaikutuksia, fossiilisia polttoaineita käyttävien voimalaitosten luonnonradioaktiivisuuspäästöjä, erilaisten teollisuuden tuotteiden ja jätteiden säteilyvaikutuksia ja rakennusmateriaalien säteilyominaisuuksia. Uraanilouhinnan ja -rikastuksen ympäristövaikutuksia tutkitaan Pohjois-Karjalassa,

jossa selvitetään luonnon radionuklidien tilaa ja leviämistä vanhalla uraanin koelouhos- ja rikastuspaikalla ja sen ympäristössä. Radioaktiivisuuden kulkeutumista teollisuustuotteisiin tai sivutuotteisiin ja jätteisiin tutkitaan prosessiteollisuudessa, jossa käytetään suuria määriä luonnon radioaktiivisuutta sisältäviä raaka-aineita.

#### Ydinvoiman ympäristökysymykset

Radioaktiivisten aineiden päästöjä ja niiden leviämistä valvotaan ympäristön säteilytarkkailuohjelmien avulla. Ydinvoimalaitosten käyttölupaehdoissa on määritelty, kuinka paljon radioaktiivisia aineita laitoksista saa päästää ympäristöön. Ympäristön säteilytarkkailu käsittää ne säteilytason mittaukset ja radioaktiivisten aineiden pitoisuusmääritykset, jotka ovat tarpeen voimalaitosten ympäristössä asuvan väestön säteilyrasituksen seuraamiseksi.

Loviisan ja Olkiluodon ympäristöistä kerätään vuosittain yhteensä noin 1 000 näytettä radionuklidianalyysyjä varten. Näytekohteet on valittu siten, että eri ravintoketjujen muodostamat kulkeutumistiet ovat kontrollin alaisina ketjun eri vaiheissa. Kohteesta riippuen näytteenotto on joko jatkuvaa tai sitä suoritetaan 1 - 4 kertaa vuodessa. Näytteenottopisteiden sijoittamisessa on otettu huomioon eri kulkeutumissuunnat maalla ja merellä uloimpien pisteiden ollessa noin 20 km:n etäisyydellä voimalaitoksista.

Loviisan ja Olkiluodon voimalaitosten tähänastiset päästöt vesistöön ovat olleet muutamia prosentteja asetetuista päästörajoista. Päästöt ilmaan ovat olleet vielä pienempiä ja ne ovat tulleet esiin maaympäristön näytteissä erittäin harvoin ja silloinkin vain lähellä voimalaitosta. Eräissä purkuvesistöjen näytteissä on todettu radioaktiivisia aineita säännöllisemmin. Kaikki mitatut pitoisuudet ovat kuitenkin olleet niin vähäisiä, etteivät ne ole antaneet aiheutta erityisiin toimenpiteisiin.

Kiinteiden valvontaohjelmien lisäksi ydinvoimalaitosten ympäristössä suoritetaan täydentäviä tutkimuksia. Näillä varmistetaan, että valvontaohjelmat ovat kattavia ja niiden tuloksista tehtävät johtopäätökset oikeita. Samalla ne tähtäävät valvontaohjelmien ja annoslaskumallien kehittämiseen. Tällaisilla projektiluonteisilla erillistutkimuksilla on seurattu mm. rakkolevän radionuklidipitoisuuksien vuodenaikaisvaihtelua, tehty laajempia alueellisia kartoituksia ja selvitelty eräiden nuklidien käyttäytymistä pohjasedimentin pintakerroksessa.

Lisäksi Loviisassa ja Olkiluodossa on suoritettu vesibiologisia tutkimuksia, joilla on hankittu tietoa ydinvoimalaitoksia ympäröivien vesialueiden hydrografisista ja biologisista erityispiirteistä. Tällaista taustatietoa on tarvittu säteilyvalvontaa ja radioaktiivisten aineiden kulkeutumista koskevia radioekologisia tutkimuksia varten. Samalla on pyritty kattavasti seuraamaan voimalaitosten kaikkia vaikutuksia vesiympäristössä.

Ydinvoiman ympäristökysymyksistä kauaskantoisimpia lienevät jätteiden loppusijoitukseen liittyvät ratkaisut. Valvontaosasto osallistuu voimayhtiöiden jäteselvitysten arviointiin geologisella, geokemiallisella ja jätteiden kemiallisia ominaisuuksia selvittävillä sektoreilla. Ydinvoimalaitosten ympäristötutkimusten ja valtakunnallisen radioaktiivisuuden tutkimusten antama radioekologinen tietämys on tarpeen myös arvioitaessa radioaktiivisten jätteiden mahdollista leviämistä biosfäärissä.

#### Valtakunnallinen radioaktiivisuuden valvonta

Ympäristön keinotekoisien radioaktiivisuuden valvomiseksi osasto ylläpitää valtakunnallisia näytteenottoverkkoja. Nykyinen erittäin lievän stratosfäärin kaukolaskeuman tilanne ei sinänsä edellytä valvontatoimia. Jatkuvan näytteenotto- ja mittaustoiminnan päätarkoitus onkin luoda perusta niille ohjelmille, jotka takaavat riittävän tiedon saannin laskeumatilanteessa.



Nopeat muutokset laskeumatilanteessa havaitaan todennäköisimmin ilmapölynäytteistä. Normaalisti näytteitä kerätään yhdellä paikkakunnalla puolen viikon jaksoin. Nuklidikoostumuksen perusteella arvioidaan laskeuman ikää ja alkuperää.

Laskeumanäytteet otetaan jatkuvasti toimivilla sadevedenkerääjillä, jolloin mukaan tulee sekä kuiva että märkä laskeuma. Keräysasemia on parisenkymmentä eri puolilla maata, ja koko maan keskimääräinen kuukausilaskeuma analysoidaan kokoomänäytteistä. Mittausten perusteella arvioidaan maahan laskeutuneiden radionuklidien aiheuttama säteilyannos. Kuukausilaskeumat antavat lisäksi ennakkokäsityksen siitä, miten elintarvikkeiden radioaktiivisuus tulee muuttumaan.

Sisäinen säteilyannos määräytyy hengityksen ja ravinnon mukana elimistöön joutuneiden radioaktiivisten aineiden ominaisuuksista ja niiden määrästä eri kudoksissa. Saantiin perustuen hengitysansannos arvioidaan pintailman radioaktiivisuudesta, ravintoa taas edustavat valvontaohjelmassa kotimaiset peruselintarvikkeet.

On mahdollista arvioida sisäistä säteilyannosta myös mittaamalla suoraan kudosten radionuklidipitoisuuksia. Luuhakuisten, elimistöistä hitaasti poistuvien radionuklidien, lähinnä strontium 90:n, määriä kehossa analysoidaan ihmisluunäytteistä.

Vesiympäristöohjelmilla seurataan talousveden lisäksi säännöllisesti rannikon ja avomeren veden ja pohjasedimentin sekä rannikkoalueiden kalan ja pohjaeläinten radioaktiivisuutta. Tutkimukset antavat tietoa pitkäikäisten radionuklidien käyttäytymisestä ja kulkeutumisesta vesiravintoketjujen kautta ihmiseen.

Valtakunnallista radioaktiivisiin aineisiin kohdistuvaa valvontaa on suoritettu maassamme jo noin 25 vuotta. Tänä aikana on saatu yleiskuva pitkäikäisten laskeuman radionuklidien käyttäytymisestä Suomen olosuhteissa. Maailman-

laajuisen ydinkokeiden aiheuttaman laskeuman tunteminen ja tieto tämän ihmiselle aiheuttamasta altistuksesta antaa pohjan ydinvoimalaitosten ympäristöissä tehtyjen havaintojen merkityksen oikealle tulkinnalle.

#### Kriisi- ja onnettomuusvalmius

Säteilyturvakeskus toimii väestönsuojelun säteilyvalvonta-organisaation keskeisenä tutkimuslaitoksena ja kerää kaikki valtakunnallisen säteilyvalvonnan tiedot. Poikkeusoloissa keskus perustaa säteilyvalvonnan keskuslaboratorion ja kolme aluelaboratoriota sekä antaa säteilyvaaratilanteeseen liittyviä toimenpidesuosituksia muille viranomaisille.

Näiden tehtävien käytännön suunnittelu tapahtuu valvontaosastolla. Tehtäviin liittyy läheisesti radioaktiivisen saasteen leviämisen ja siitä aiheutuvien säteilyannosten arviointimenetelmien kehittäminen asiantuntijaelinten käyttöön.

Ydinvoimalaitosonnettomuudessa keskuksen erityisenä tehtävänä on hankkia ja käsitellä ympäristön säteilyvalvontatiedot. Valvontaosasto varautuu myös lähettämään mittausautonsa ja liikkuvan laboratorion onnettomuuspaikan ympäristöön ja tehostamaan laboratoriotointaansa. Tätä varten kehitetään ja ylläpidetään nopeita mittausmenetelmiä ja kenttämittauksissa tarvittavia mittalaitteita.

#### Sisäisen säteilyn valvonta

Ihminen voi saada radioaktiivisia aineita kehoonsa ravinnon, juomaveden ja hengitysilman mukana tai ihon läpi kulkeutuvana saastumisena. Ihmisen sisäisen säteilyn laatua ja määrää voidaan tutkia suoran tai epäsuoran menetelmän avulla. Suora menetelmä ihmisen radioaktiivisuuden toteamiseksi on ns. kokokehomittaus, jossa ihmisen ulkopuolella olevan ilmaisimen avulla mitataan hänessä olevat radioaktiiviset aineet. Suoraa menetelmää voidaan käyttää vain gammanuklidien määrittämiseen.

Epäsuorissa menetelmissä otetaan ihmisestä näytteitä kuten virtsaa, ulostetta, verta tai hiuksia. Beeta- ja alfa-aktiivisuus joudutaan määrittämään epäsuoralla menetelmällä, koska kudoksissa tapahtuu niin voimakasta absorboitumista, ettei säteily tunkeudu kehosta ulos ilmaisimeen.

Kokokehomittaussysteemejä on kaksi, toinen kiinteä ja toinen liikkuva. Kiinteän systeemin avulla pystytään määrittämään myös aktiivisuuden jakauma kehossa. Mittauksella nähdään esimerkiksi onko mitattava radionuklidi kerääntynyt johonkin elimeen vai onko se jakautuneena tasaisesti koko kehoon. Kokokehomittauksissa käyvät laboratoriotyössään radioaktiivisia aineita käyttävät henkilöt.

Liikkuvalla mittaussysteemillä suoritetaan ydinvoimalaitosten työntekijöiden mittauksia laitokselta peräisin olevien radionuklidien toteamiseksi. Mittaustulosten avulla voidaan laskea työntekijöiden saamat sisäiset säteilyannokset.

Paitsi työperäisiä annoksia seurataan myös väestön sisäisiä annoksia mittaamalla vuosittain ns. vertailuryhmä kokokehomittaussysteemillä. Ellei ihmistä voida mitata suoraan, kerätään näytteitä. Tärkein valvonnassa käytetty näyte on virtsanäyte. Virtsanäyte mitataan ja saadun tuloksen sekä kyseisen radionuklidin käyttäytymismallin mukaan arvioidaan henkilön saama sisäinen säteilyannos. Sekä tällaisen että myös koko ihmistä koskevien säteilyannosten laskentamallin kehittämiseksi tehdään tutkimustyötä.

ATS:N KOTIMAAN OPINTOMATKA 28. - 29.5.1985

SISÄLLYS

Osallistujat

Matkashjelma

Vierailukohteet

    Olkiluodon ydinvoimalaitos ja KPA-varasto

    Jack-up lautta

    Tahkoluodon voimalaitos

    Lavian koereikä

## OSALLISTUJAT

Tapani Graae	Asea-Atom Ab
Paavo Holmström	Rauma-Repola Oy
Kari Kantola	VTT
Martti Kätkä	Imatran Voima Oy
Timo Mikkola	VTT
Kai Mäkelä	VTT
Tapio Ollikainen	VTT
Heikki Raumolin	Teollisuuden Voima Oy
Pertti Salminen	VTT
Timo Vanttola	VTT
Antti-Jussi Voutilainen	Termeca Oy
Mikael Winberg	VTT

## MATKAOHJELMA

### Tiistai 28.5.

11.20 - 15.00	Bussi Helsinki - Olkiluoto
15.00 - 18.00	Tutustuminen Olkiluodon ydinvoimalaitokseen ja KPA-varastotyömaahan
18.00 - 22.00	Sauna ja ruokailu
22.00 - 23.00	Bussi Olkiluoto - Pori, yöpyminen

### Keskiviikko 29.5

9.00 - 10.15	Tutustuminen Rauma-Repola Oy:n Mäntyluodon tehtaisiin ja Jack-up lauttaan
10.30 - 11.30	Tutustuminen Länsirannikon Voima Oy:n Tahkoluodon voimalaitokseen
12.00 - 14.00	ATS:n kuukausikokous ja ruokailu, tutkimuspäällikkö Matti Rintanen Porin kaupungin sähkölaitokselta esitelmöi aiheesta: "Porin seudun energiahuolto"
14.00 - 15.00	Bussi Pori - Lavia
15.00 - 16.00	Tutustuminen koereikään
16.00 - 20.30	Bussi Lavia - Helsinki

Martti Kätkä, IVO  
Timo Mikkola, VTT/YDI

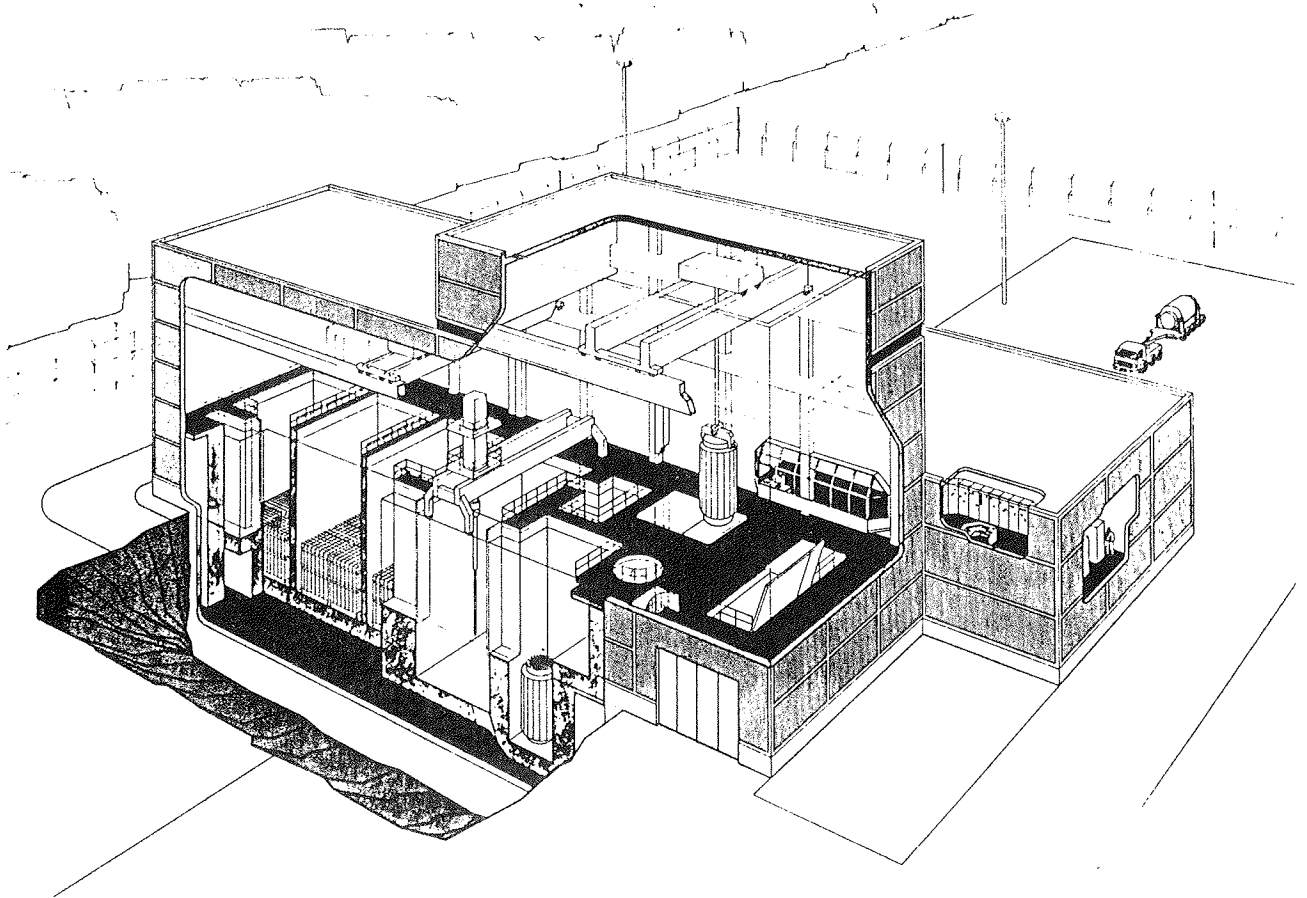
TUTUSTUMINEN TVO:N OLKILUODON YDINVOIMALAITOKSEEN JA  
KPA-VARASTOTYÖMAAHAN 28.5.1985

ATS:n kotimaan opintomatkan ensimmäisenä vierailukohteena oli TVO:n voimalaitos Olkiluodossa, jonne saavuttiin täsmälleen aikataulun mukaisesti klo 15.00. Opintomatkalaisia olivat vastassa TVO:n toimitusjohtaja Magnus von Bonsdorff ja varatoimitusjohtaja Haapala. Isännät toivottivat vieraat tervetulleiksi, jonka jälkeen siirryttiin laitoksen vierailukeskukseen. Vierailukeskuksessa perehdyttiin Teollisuuden Voimaa Oy:tä ja ydinenergiaa esittelevään näyttelyyn. Näyttelyn jälkeen esitettiin multivisioesitys sähkön roolista nyky-yhteiskunnassa. Esityksessä kerrottiin sähkön kulutuksesta, tuotannosta ja erityisesti ydinenergiasta ja sen ympäristövaikutuksista.

Multivisioesityksen jälkeen Magnus von Bonsdorff kertoi TVO:n historiasta ja ydinsähkön tämänhetkistä kustannuksista. TVO myy sähköä osakkailleen omakustannushintaan. Mainittakoon, että sähkövero oli vuonna 1984 markkamääräisesti samaa luokkaa kuin TVO:n laitosten polttoainekustannukset. TVO:n sähkön hinta oli vuoden vaihteessa tuotettuna laitoksella noin 12 p/kWh ja asiakkaille toimitettuna 16 p/kWh. Metsäteollisuudelle sähkön hinnalla on erittäin suuri merkitys. Koko maan sähkönkulutuksesta metsäteollisuuden osuus on noin 40 %. Tästä tulee puolet omakustannushintaan Teollisuuden Voimalta. Yksi kilowattitunti ydinsähköä maksaa suunnilleen yhtä paljon, kuin lämpösisällöltään 1 kilowattitunti hiiltä.

Vuoden 1985 alusta TVO:n molempien yksiköiden teho nostettiin pysyvästi 660 MW:sta 710 MW:iin. Muutostyöt olivat suhteellisen vähäisiä: 20 Mmk:n investoinneilla saadaan laitoksilla tuotettua 8 % enemmän sähköä. Mainittakoon, että tuhannen megawatin ydinvoimalaitoksen rakennuskustannukset ovat noin 8 Mrd markkaa. Toimitusjohtajan alustuksen jälkeen käytiin käsitellyistä aiheista lyhyt yleiskeskustelu.

Seuraavaksi vierailtiin KPA-varaston rakennustyömaalla. Oppaana toimi TVO:n rakennusvalvoja Teppo Mannila. Varastoon rakennetaan kolme 13,5 metrin syvyistä allasta käytettyä polttoainetta varten. Riippuen pakkaustavasta altaisiin mahtuu 600-900 tonnia käytettyä polttoainetta. Varastoa on mahdollisuus tarvittaessa laajentaa rakentamalla vielä kolme allasta lisää. Tällöin varastoon mahtuisi kaikki TVO:n laitosten käytön aikana syntyvät



1200...1300 tonnia käytettyä polttoainetta. Rakennustyöt olivat edenneet vaiheeseen, jossa valutöitä parhaillaan suoritettiin. Betonia tulee valettavaksi kaikkiaan 16 000 m<sup>3</sup> ja tähän mennessä oli valettu 7 000 m<sup>3</sup>. KPA-varaston ensimmäinen vaihe on valmis vuoden 1987 lopulla. Tällöin rakennus on oheisen kaavakuvan mukaisessa asussa.

Lopuksi vierailtiin itse ydinvoimalaitoksella. Laitoskierroksella oli oppaana käyttötoimiston päällikkö Jaakko Toppila. Laitoskierros aloitettiin ykkösyksikön valvomosta. Ykkösellä oli juuri menossa ns. stretch-out-ajo, koska revision oli määrä alkaa 6. kesäkuuta eli vain runsaan viikon kuluttua. Kakkosyksikön revisio oli parhaillaan loppusuoralla ja yksikön oli määrä olla verkossa 1. kesäkuuta. Revision vuoksi kakkosyksiköllä ei vierailtu.

Valvomosta siirryttiin käymään ykkösyksikön turbiinihallissa ja reaktorihallin parvekkeella. Parvekkeelta oli hyvät näköalat koko reaktorihalliin polttoainealtainen ja reaktorirakennuksen suojakupoleineen. Parvekkeella oli läheltä nähtävissä myös IAEA:n valvontakamera, joka oli kiinnitetty aivan parvekkeen kaiteen viereen.

Laitoskierros päättyi aikataulun mukaisesti klo 18.00. Laitoskierroksen jälkeen isännät kutsuivat opintomatkalaiset saunomaan ja illalliselle TVO:n upeaan saunaan.

Kantola Kari, VTT/YDI

Voutilainen Antti-Jussi, Oy Termeca Ab

### **Mäntyluoto: JACK-UP -LAUTTA**

Rauma-Repola Oy:n Mäntyluodon tehtailla rakennetaan parhailaan kahta Neuvostoliiton arktisten vesien öljynetsintään tarkoitettua jack-up -tyyppistä öljynporauslauttaa. Toinen lautoista on koeajovaiheessa toinen puolivalmis, ja ne molemmat luovutetaan sopimuksen mukaisesti vuoden 1985 kuluessa. Aiemmin Rauma-Repola on rakentanut puoliuppoumatyyppisiä lauttoja sekä porauslaivoja, joten pohjassa seisovat jack-up -lautat ovat uusi aluevaltaus yhtiölle.

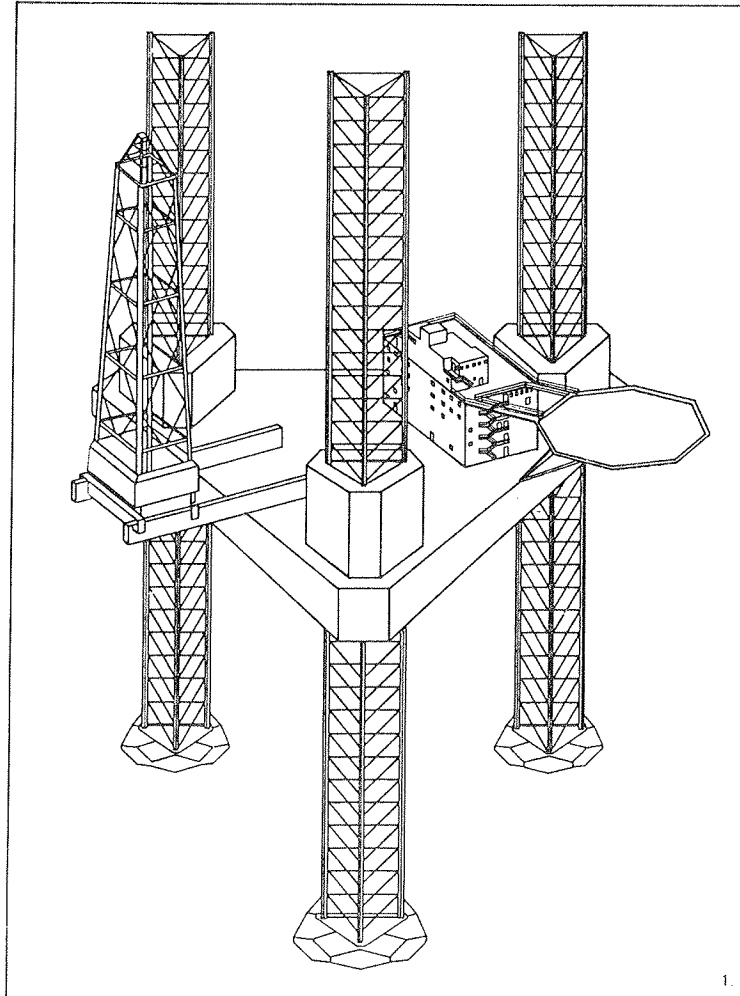
Neuvostoliittoon rakennettava jack-up -lauttatyyppeä on yksi maailman suurimmista. Se pystyy toimimaan sata metriä tai sitä matalammassa vedessä ja poraamaan 6500 metriin asti. Lautat kykenevät toimimaan sekä arktisissa että trooppisissa olosuhteissa lämpötilavälillä  $-30...+40^{\circ}\text{C}$ . Miehistötilaa lautassa on 80 henkilölle ja varastotilaa siten, että lautan omavaraisuus ilman huoltotäydennyksiä on yksi kuukausi. Suurin hyötykuorma porattaessa on 2650 t.

Lautan tekninen rakenne on esitetty oheisessa kuvassa. Lautan kansi on kolmio, jonka jokaisessa kulmassa on kolmionmuotoinen ristikkorakenteinen 140 metriä korkea jalka. Erikoislujasta teräksestä ( $\sigma_m > 700 \text{ MPa}$ ) valmistettu jalkarakenne on vaativa. Suurin osa jalkojen teräksestä on paksuseinäistä saumatonta putkea. Jaloissa on pituussuunnassa hammastangot, joiden avulla kulmiin sijoitetut sähkömoottorit nostavat ja laskevat porauskantta. Moottoreita on neljä päällekkäin kussakin jalan kulmassa eli yhteensä 36 kappaletta, joiden varassa runko toimintatilanteessa on. Kannen nostonopeus on 18 metriä tunnissa. Poraus tapahtuu laidan ulkopuolelta niin, että etäisyys rungon laidasta on 13,5 metriä. Porauslaitteisto on Rauma-Repola Oy:n omaa valmistetta.



Jack-up -lauttojen kuljetukseen on kehitetty puoliksi upotettavia kuljetuslaivoja, joiden kannelle lautta voidaan uittaa. Kohotettaessa laiva normaalisyvyyteen jää lautta sen kansilastiksi, jolloin pitkäkin kuljetus on helppoa. Kun lautta on toimipaikallaan, sen jalat lasketaan meren pohjaan ja painetaan pohjamutaan. Jalkoja pohjaan laskettaessa käytetään esikuormitusta, jottei mikään jaloista painuisi yllättäen muita syvemmälle mutaan. Lautan runko nostetaan niin korkealle veden pinnan yläpuolelle, ettei aallokko ulotu siihen; ilmaväli on 10-20 m.

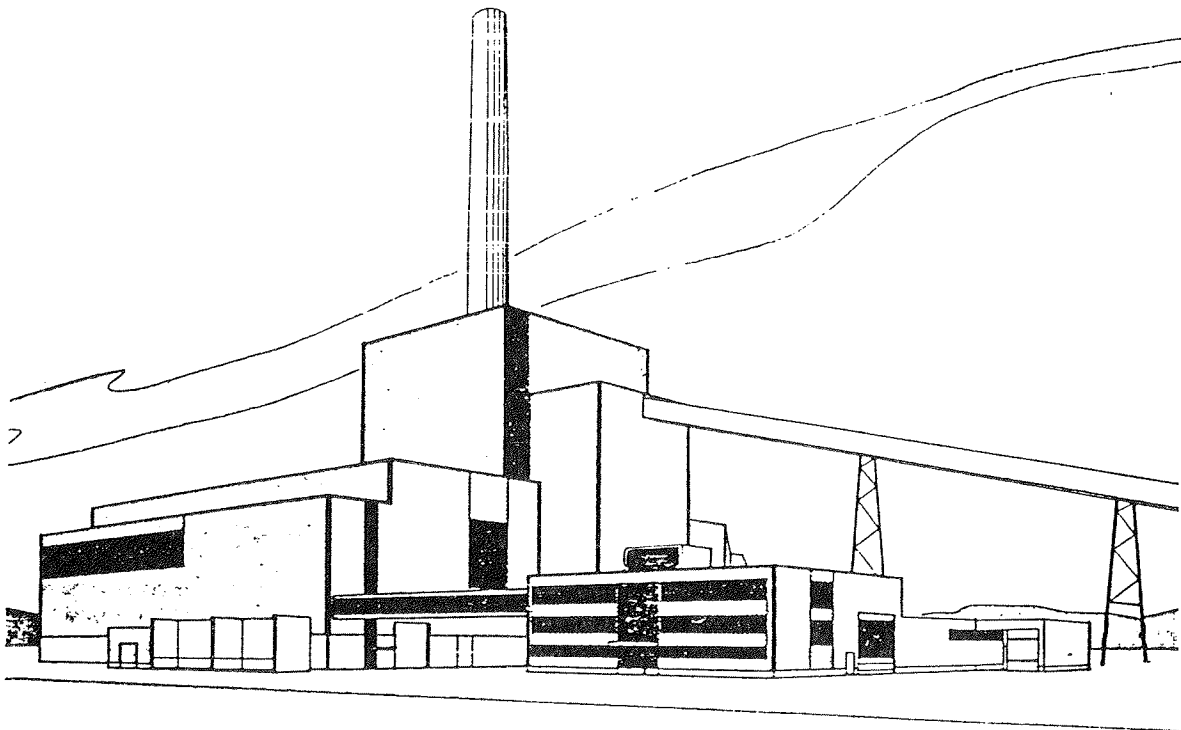
Vierailu telakalla ja lautalla oli hyvin antoisa antaen hyvän kuvan rakenteiden valtavasta koosta, vaativuudesta sekä offshore -tekniikasta yleensä. Vierailun onnistumisesta saavat kiitokset isäntinä Mäntyluodossa toimineet johtaja Paavo Holmström ja henkilöstöpäällikkö Jussi Yli-Hongisto.



Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus  
Ydinvoimatekniikan laboratorio  
Kai Mäkelä  
Tapio Ollikainen

LÄNSIRANNIKON VOIMA OY

TAHKOLUODON HÖYRYVOIMALAITOS



ATS:n kotimaan opintomatkan toisen päivän, keskiviikon 29.5. toisena vierailukohteena oli tutustuminen Länsirannikon Voima Oy:n Tahkoluodon höyryvoimalaitokseen. Asiantuntevan ja mielenkiintoisen laitospäivätoiminnan tarjosi meille toimitusjohtaja Sakari Myllymäki.

Länsirannikon Voima Oy on perustettu 1965 ja siinä on kahdeksan eri osakkeenomistajaa, joista merkittävimmät ovat Oy Nokia Ab, G.A.Serlachius Oy, Oy Rosenlew Ab ja Porin kaupunki.

Tahkoluodon voimalaitoksen rakentaminen aloitettiin v. 1974. Käytössä voimalaitos on ollut vuodesta 1976. Taulukossa 1. on esitetty laitoksen käyttö vuosina 1977 - 1984.

Taulukko 1.

## VOIMALAITOKSEN KÄYTTÖ VUOSINA 1977—1984

	1984	1983	1982	1981	1980	1979	1978	1977
Kokonaiskehitys .... MWh	5 130,0	30 135,0	114 042,0	363 828,0	1 292 563,0	1 246 410,0	1 531 478,0	787 789,0
Nettokehitys ..... MWh	4 778,6	28 174,1	106 492,9	339 868,9	1 205 485,2	1 163 381,4	1 422 945,5	733 603,6
Osakkaille toimitettu MWh	4 681,0	27 628,7	102 741,5	331 498,9	1 177 186,2	1 138 776,6	1 386 620,1	713 585,0
Korvaussähkötoimitus osakkaille ..... MWh	320 351,5	515 767,1	262 100,1	235 322,5	22 060,1	69 014,5	18 688,8	—
Kivihillen kulutus .. t	1 638	9 884	37 539	118 808	439 291	431 981,3	525 604,4	261 432,7
Raskaan polttoöljyn kulutus ..... t	1 399	1 564	2 167	3 608	2 924	4 832,3	4 481,2	17 307
Verkossaoloajan keskiarvo ..... MW	130	143	150	165	199	184	202	184
Verkossaoloaika .... h.min	39,26	210,42	760,32	2 208,02	6 497,16	6 788,34	7 573,47	4 286,34
Varallaoloaika ..... h.min	8 406,42	8 499,06	6 670,40	5 284,35	318,04	1 008,23	49,08	2 263,00
Häiriöaika ..... h.min	1,52	2,12	7,17	82,23	141,31	66,49	392,32	816,29
Huoltoseisokki .... h.min	336,00	48,00	1 321,31	1 185,00	1 750,46	896,14	744,33	193,57
Muu seisokkiaika .. h.min	—	—	—	—	76,23	—	—	1 200,00
Käytettävyys ..... %	96,2	99,4	84,8	85,5	77,6	89,0	87,0	74,8
Käyttöaikakerroin .. %	0,4	2,4	8,7	25,2	74,2	77,5	86,5	48,9
Hiilen tuonti ..... t	—	—	—	276 693,0	372 270,0	374 457,0	427 526,5	418 111,0

Ydinvoimalaitosten korkean käytettävyuden ja viime vuosina olleen hyvän vesivoimatilanteen takia jäi voimalaitoksen verkossaoloaika esim. vuonna 1984 alle 40 tunnin.

Laitoksen kattila on Tampellan valmistama kertakiertokattila.

Höyrystysmäärä on 655 t/h, höyrönpaine on 181 bar ja lämpötila 535 °C.

Apukattilan höyrystys on 30 t/h ja paine 16 bar.

Turbiini on venäläisvalmisteinen ja teho on n. 220 MW.

Polttoaineena käytetään kivihiiltä ja öljyä, joko vaihtoehtoisesti tai samanaikaisesti. Hiilen kulutus on normaalisti n. 75 t/h ja öljyn n. 45 t/h.

Voimalaitoksessa syntyvästä tuhkasta n. 80 % on lentotuhkaa, joka sähkösuodattimilla kerätään lähes kokonaan talteen ja käytetään sementin valmistukseen. Karkeampi aines käytetään esim. teiden pohjustukseen. Ilmaan tuhkaa leviää n. 100–150 kg/h.