

# ATS

YDINTEKNIikka

SUOMEN  
ATOMITEKNILLINEN  
SEURA -

ATOMTEKNISKA  
SÄLLSKAPET  
I FINLAND ry



1/96, vol. 25

## Tässä numerossa

Valoa ja energiaa	1
Nykykäsitys Tshernobylin reaktorionnettomuudesta	2
Suomalaiset ydinmiehet aktiivisesti mukana itäyhteistyössä	6
RBMK-reaktorit tänään	10
Tshernobylin turman yhteiskunnalliset vaikutukset	13
Lasten kilpirauhassyöpä lisääntynyt Tshernobylässä	15
Suomalaisten säteilyannos heilahtelee	18
MODE lisää Olkiluodon turvallisuutta	20
Myös Loviisaan lisää tehoa	22
Loviisan laitosjätteiden luola valmistumassa	24
Loviisan käytetyn polttoaineen varastoa laajennetaan	27
Ydinjätteen loppusijoitus on ympäristöinvestointi	28
Jäsenpalsta	29
English abstracts	30

# ATS

## YDINTEKNIikka

1/96, vol. 25

JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura —  
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

UUODEN 1996 TEEMAT

### TOIMITUS

Päätoimittaja  
DI Jorma Aurela  
Imatran Voima Oy  
Loviisan voimalaitos  
PL 23  
07901 Loviisa  
p. (915) 550 3070

Erikoistoimittaja  
TKT Seppo Vuori  
VTT Energia  
PL 1604  
02044 VTT  
p. (90) 456 5067

Erikoistoimittaja  
FL Risto Paltemaa  
Säteilyturvakeskus  
PL 14  
00881 Helsinki  
p. (90) 7598 8313

Erikoistoimittaja  
DI Olli Nevander  
IVO International Oy  
01019 IVO  
p. (90) 8561 2613

Erikoistoimittaja  
DI Tapio Saarenpää  
Teollisuuden Voima Oy  
27160 Olkiluoto  
p. (938) 381 4312

1/96  
Ajankohtaista  
ydintekniikassa

2/96  
Ydintutkimuksen linjat

3/96  
ATS 30 vuotta - juhlaulkaisu

4/96  
Ekskursio

### ILMOITUSHINNAT

1/1 sivua 2000 mk  
1/2 sivua 1400 mk  
1/4 sivua 1000 mk

### JOHTOKUNTA

Puheenjohtaja  
TKL Eero Patrakka  
Teollisuuden Voima Oy  
27160 Olkiluoto  
p. (938) 381 3300

Varapuheenjohtaja  
DI Pertti Salminen  
Teollisuuden ja Työnantajain  
Keskusliitto (TT)  
PL 30  
00131 Helsinki  
p. (90) 6868 2562

Tkt Ilari Aro  
Säteilyturvakeskus  
PL 14  
00881 Helsinki  
p. (90) 7598 8296

Rahastonhoitaja  
TKL Eija Karita Puska  
VTT Energia  
PL 1604  
02044 VTT  
p. (90) 456 5036

DI Eero Mattila  
IVO International Oy  
01019 IVO  
p. (90) 8561 2418

Sihteeri  
DI Timo Ritonummi  
KTM Energiaosasto  
PL 230  
00171 Helsinki  
p. (90) 160 4798

Tkt Seppo Vuori  
VTT Energia  
PL 1604  
02044 VTT  
p. (90) 456 5067  
Internet: Seppo.Vuori@vtt.fi

### TOIMITUKSEN OSOITE

ATS Ydintekniikka  
c/o Timo Ritonummi  
KTM Energiaosasto  
PL 230  
00171 Helsinki  
p. (90) 160 4798 (suora)  
telefax (90) 160 2695

Osoitteenmuutokset  
pyydetään ilmoittamaan  
Seppo Vuorelle,  
Internet: Seppo.Vuori@vtt.fi

Lehdessä julkaistut artikkelit  
edustavat kirjoittajien omia  
mielipiteitä, eikä niiden kai-  
kissa suhteissa tarvitse vasta-  
ta Suomen Atomiteknillisen  
Seuran kantaa.

### TOIMIHENKILÖT

Kansainväl. asioiden sihteeri  
DI Jussi Palmu  
Posiva Oy  
Annankatu 42 D  
00100 Helsinki  
p. (90) 2280 3750

Ekskursios sihteeri  
DI Ari Anttila  
Teollisuuden Voima Oy  
27160 Olkiluoto  
p. (938) 381 5240

ISSN-0356-0473



Jorma Aurela

## VALOA JA ENERGIAA

### Keskustelua ydinvoimasta 1996

**Taiteilija Ilkka Lipsanen alias Danny on antanut 30-vuotiskiertueensa nimeksi Valoa ja Energiaa. Kiertuettaan esitellessään hän toteaa Albert Einsteinin sanoneen, ettei mikään katoa — se vain muuttaa muotoaan. Lehti uutisista päätellen Danny myy edelleen. Hän on pysynyt pinnalla yhtä kauan kuin ATS on ollut olemassa, ja muuttanut muotoaan ajan vaatimusten mukaisesti.**

DI Jorma Aurela työskentelee turvallisuusinsinöörinä Loviisan voimalaitoksella ja hän on ATS Ydintekniikka-lehden päätoimittaja, p. (915) 550 3070

*Entä ydinvoima ja ATS? Olemmeko me pystyneet vastaamaan muuttuneisiin olosuhteisiin. Tekniikan puolella mahdollisesti paremmin, mutta mielikuvapuolella heikommin. Vuonna 1966 ydinvoima oli **pop** ja nuoret ydintekniikan ammattilaiset kuuraketin lailla nousevassa kurssissa. Nyt väitetään, että ydinvoima on **out**, ja vanhentuneet ydininsinöörit kituvat lamassa töiden puutteessa.*

*Korviini sattui viime syksyn Loviisan pääkiertopumppujupakan yhteydessä erään ATS:n jäsenen kysymys, että onko Loviisa nyt saattohoidossa? Samaan aikaan me ivolaiset valmistelemme Loviisan modernisointia ja tehonkorotusta. Olkiluodossa ollaan vielä paljon rajummin liikkeellä. Miksi alan omatkin ihmiset ovat näin pessimistisiä ja tekevät vääriä päätelmiä?*

*Uskon, että se johtuu ydinvoiman historiasta. Mielikuvissa olemme tulleet pitkää alamäkeä. Lähtökohdat olivat ruusuiset, emmekä ole pystyneet muuttumaan. ENC'94 -kokouksen sihteerinä sain tehtäväksi pyytää alan ulkopuolelta puhujaksi CNN:n Euroopan toimiston päällikön John Feingoldin. Tämä selkeäsanainen jenkki totesi ydinyhteisön ongelmaksi sisäänpäinkääntyneisyyden ja itsesäälin. ”Te olette kuin saarelle eristäytynyt porukka, joka hokee: miksi meitä kohdellaan huonosti, kun me olemme tehneet kaiken niin hyvin?”*

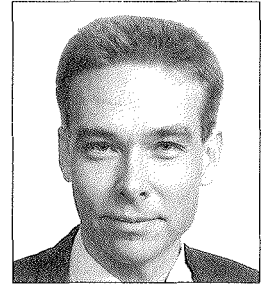
*Keskustelu on päivän sana. Yhteiskunnassa käydään jatkuvaa keskustelua niin EMUsta, budjettileikkauksista kuin ilmaston muuttumisesta. Osallistukaamme viriävään ydinvoimakeskusteluun, vaikka se joskus tuntuukin korpeen huutamiselta. On osoitettava rintamakestävyyttä ja aloitettava viidennen ydinvoimayksikön kolmas vuosikymmen. Terrieriote puree lopulta energiakysymykseenkin.*

*Myös tieteellisen seuran sisällä on lupa odottaa keskustelua. Tässä lehdessä Lauri Rantalainen esittää väitteitä, jotka toivottavasti herättävät ajatuksia. Keskusteluun voi mainiosti osallistua kirjoituksella ATS Ydintekniikassa. Porkkanana todettakoon, että Seuran vuosikokouksessa jaettiin 15 000 markkaa stipendeinä ATS Ydintekniikan parhaiksi valituille kirjoittajille vuosina 1994–1995.*

*Vuosi 1996 on ATS:n ja tämän lehden juhlavuosi. Vuoden vaihteessa aloitti ATS Ydintekniikassa uusi toimituskunta, joka on sekoitus vanhaa ja uutta. Tulette tänä vuonna näkemään myös lehden sivuilla uusia piirteitä, vaikka perinteinen peruslinja säilyy. Tässä numerossa olemme ajankohtaisia, ensi numerossa tarkastelemme uutta tutkimusta ja kolmosnumerossa juhlimme.*

*Toivottavasti viihdytte seurassamme.*

# NYKYKÄSITYS TSHERNOBYLIN REAKTORIONNETTOMUUDESTA



*Tshernobylin onnettomuuden jälkeen entisessä Neuvostoliitossa on tapahtunut paljon. Sosiaaliset, poliittiset ja taloudelliset olot ovat muuttuneet merkittävästi. RBMK-laitoksia käytetään edelleen. Onnettomuuteen johtaneita tekijöitä on arvioitu turvallisuuskulttuurin kannalta. Tässä artikkelissa tarkastellaan reaktorifysiikan näkökulmasta luotettavimmalta vaikuttavaa nykykäsitystä onnettomuuden syistä.*

**R**BMK-reaktorit ovat grafiitilla moderoituja kanavareaktoreita. Virtauskanavia on lähes 1700 kappaletta. Osassa kanavista on säätösauva. Primääripiirin lämmönsiirto tapahtuu kanavissa kiehuvan vesijäähdytteen avulla. Reaktorin rakenne poikkeaa näin ollen ratkaisevasti suomalaisille tutuista kevytvesireaktoreista. Myös RBMK:n reaktorifysiikka, vaikkakin perusasiat ovat samoja, poikkeaa meillä hyvin tunnettujen reaktoreiden ominaisuuksista.

## Taustaksi reaktorifysiikan peruskäsitteitä

Reaktorifysiikalla tarkoitetaan neutronien ylläpitämän ketjureaktion sisältämien ilmiöiden tarkastelua. Ilmiöistä tärkeimmät ovat fissio, neutronin absorptio ja neutronin hidastuminen. Reaktorin ajallisen käyttäytymisen tarkastelemisessa tarvitaan käsitteet kasvutekijä, reaktiivisuus ja viivästyneiden neutronien osuus. Kasvutekijä kuvaa kahden peräkkäisen neutronisukupolven neutronien määrän suhdetta, reaktiivisuus yksinkertaistetusti kasvutekijän poikkeamaa arvosta yksi. Viivästyneiden neutronien osuus tarkoittaa niitä neutroneita, jotka eivät vapaudu välittömästi fission yhteydessä vaan viivästyneesti. Tyypillinen arvo viivästyneiden neutronien osuudelle on vähän yli puoli prosenttia.

Reaktiivisuuden takaisinkytkennät tarkoittavat muutoksia kasvutekijässä,

kun reaktorimateriaalien atomitiheydet tai lämpötilat muuttuvat. Reaktorin säädettävyys perustuu viivästyneisiin neutroneihin. Ulkoapäin reaktoriin aiheutetun kasvutekijän lisäyksen tulee olla hidasta. Tällöin myös luontaiset takaisinkytkennät ehtivät vaikuttaa. Pieni osuus viivästyneistä neutroneista pitää yllä reaktorin ylikriittisyyttä ja tehon nosto tapahtuu täydellisen kauniisti.

Mikäli ylikriittisyys ylittää viivästyneiden neutronien osuuden, tehon kasvu muuttuu hyvin nopeaksi. Vaikka ylikriittisyys lähestyisi viivästyneiden neutronien osuutta tai jopa ylittäisi sen vähäisesti, seurauksena ei välttämättä ole mitään muuta kuin reaktoripikasulku, kunhan tapahtuman lähtötehotaso on hyvin alhainen ja neutronivuon valvonta havaitsee tilanteen. Tehoajollakin tällaisen ylikriittisyyden seuraukset ovat rajalliset, kunhan reaktorin luontaiset takaisinkytkennät vaimentavat ylikriittisyyden yhtä nopeasti kuin mitä se kehittyi.

RBMK-reaktorin reaktiivisuuden takaisinkytkennät ovat itseisarvoltaan pieniä. Periaatteessa nämä ominaisuudet ovat suotavia reaktorin turvallista hallittavuutta ajatellen. Se ulkoapäin tuotava reaktiivisuus, joka tarvitaan reaktorin saamiseen kylmästä sammutetusta tilasta kuumavalmiuteen ja edelleen täyteen tehoon sekä pitämään reaktori täydellä teholla, kunnes polttoaineen palaman takia teho alkaa laskea, on pieni. Tämä pieni ylijäämäreaktiivisuuden tarve on

seurausta heikoista reaktorifysiikalisista takaisinkytkennöistä sekä siitä, että RBMK-reaktoria ladataan jatkuvasti eikä esimerkiksi vuosittain. Grafiittihidastimen lämpötilamuutosten vaikutus reaktiivisuuteen on pieni verrattuna vastaavaan ilmiöön kevytvesihidasteisissa reaktoreissa, joissa lämpötilamuutoksen lisäksi hidastimen tiheys muuttuu hyvin merkittävästi.

Miksi edellä kuvatut RBMK-reaktorin ominaisuudet, jotka ovat yleisesti turvallisuutta ajatellen toivottavia, toimivatkin itseään vastaan tuhoisin seurauksin? Tarkastelemalla reaktorin rakennetta reaktorifysiikan näkökulmasta voidaan löytää kaksi asiaa.

## Pikasulkujärjestelmän vaatimaton tehokkuus

Pienistä ja osin positiivisista reaktiivisuuden takaisinkytkennöistä johtuen reaktiivisuuden säätöjärjestelmän, jolla reaktori voidaan turvallisesti sammuttaa kylmään tilaan, ei tarvitse olla erityisen tehokas. Heikoista reaktiivisuuden takaisinkytkennöistä johtuen sammutusjärjestelmän ei myöskään tarvitse olla erityisen nopea, sillä reaktorin dynamiikka on luontaisesti suhteellisen hidasta.

Mikäli reaktoriin on mahdollista saada esimerkiksi pikasulku varten nopeasti paljon negatiivista reaktiivisuutta, valitettavasti päinvastaisen tapahtuman, kuten postuloidun säätösauvan ulosin-

koutumisen, seuraukset pahenevat. Edellä esitetystä valossa RBMK:n sammutusjärjestelmän mitoitus ei ehkä näytäkään täysin absurdilta. Ilmeisesti RBMK:n pikasulkujärjestelmä, vaikkakin kevytvesireaktoreihin verrattuna vaatimaton, oli katsottu riittävän tehokkaaksi. Osoittautui, että järjestelmä oli yleensä riittävän tehokas.

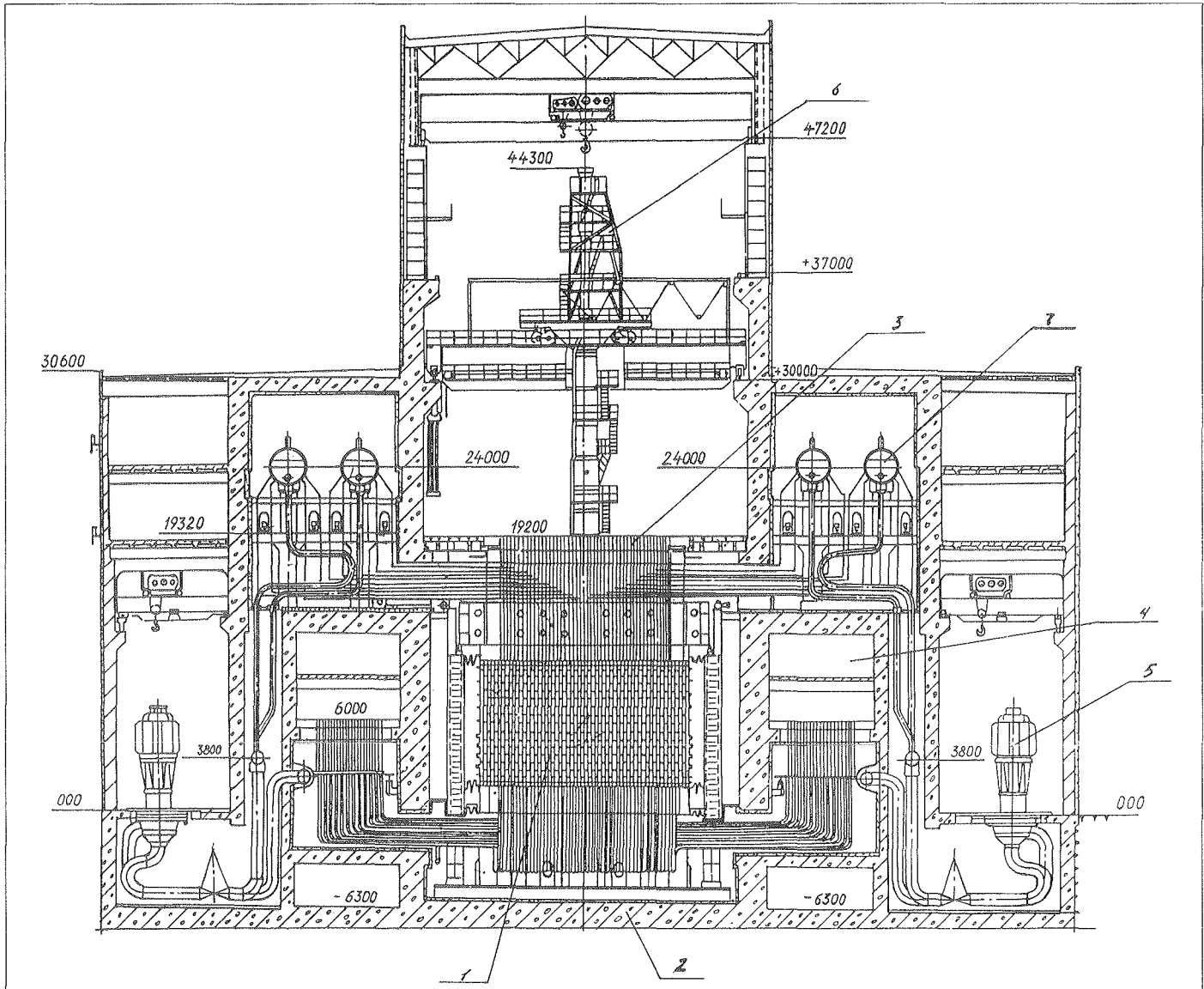
### Positiiviset reaktiivisuuden takaisinkytkennät

RBMK:n reaktiivisuuden takaisinkytkennät ovat osin positiivisia. Aukkokerroin eli jäähdytteen tiheyden reaktiivisuuden takaisinkytkentä on positiivinen. Tiheyden pienentyessä absorptio vety-

atomeihin vähenee ja absorptio raskaisiin nuklideihin lisääntyy. Neutronivuon energiaspektrissä tapahtuu muutos hieman energeettisempään suuntaan. Spektrin muuttuminen vaikuttaa fission ja raskaiden nuklidien absorption keskinäiseen suhteeseen. Tämän muutoksen nettovaikutuksen suuruus riippuu myös polttoaineen palamasta.

Aukkoisuusefektin määrittäminen reaktorifysiikkaohjelmilla on osoittautunut jostain syystä vaikeaksi. Aukko-osuus muuttuu jäähdytevirtauksen ja polttoaineesta jäähdytteeseen siirtyvän tehon funktiona, joten aukko-osuuden reaktiivisuuden takaisinkytkentä on reaktorin nopeaa dynamiikkaa ajatellen tärkeä ilmiö.

Grafiitin lämpötilakerroin on merkittävästi positiivinen. Grafiitin lämpökapasiteetti on kuitenkin niin suuri, että tästä ilmiöstä tuleva takaisinkytkentä on hidas. Reaktori on epästabiili grafiitin lämpötilan ja ksenonpitoisuuden värähtelyjen suhteen. Ensin mainitun aikavakio on kymmeniä minutteja ja ksenonvärähtelyjen aikavakio on useita tunteja. Näiden ilmiöiden ja tehoajolla tapahtuvan polttoaineen vaihdon vuoksi, reaktorin tehojakautumaa on säädettävä jatkuvasti säätösauvojen avulla. Vaikealla säädettävyydellä oli merkittävä osuus vaaratilanteen syntymiseen Tshernoby-lissä.



Kaaviokuva RBMK-tyyppisen laitoksen pääjärjestelmästä:

1. reaktori ja sitä ympäröivä grafiittirakennelma, 2. & 3. alempi/ylempi biologinen suoja, 4. vesisuoja, 5. pääkiertopumppu, 6. latauskone, 7. höyrynerotin.

## Tshernobylissä fissioteho karkasi

Tshernobylin ydinvoimalaitoksen neljännen yksikön reaktori tuhoutui 26.4.1986 fissiotehon hallitsemattoman karkaamisen seurauksena. Onnettomuuden teki mahdolliseksi reaktori, jonka käyttäytyminen ei ollut turvallista kaikissa mahdollisissa olosuhteissa. Onnettomuuden jälkeen tapahtumista syytettiin voimalaitoksen henkilökuntaa.

Kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG) arvio onnettomuuden perussyystä on muuttunut verrattuna ensimmäisen INSAG-1 -raportin lopputulokseen. INSAG-7 -raportissa arvioidaan uudelleen onnettomuutta edeltäneiden laitoksen käyttötoimenpiteiden merkitys tapahtumien kehittymiseen. Reaktoria ei oltukaan käytetty tavalla, joka olisi ollut silloisten sääntöjen ja määräysten vastaista.

Reaktorin käyttö alle 700 MW termisellä teholla ei ollut varsinaisesti kiellettyä. Normaalisti varapumppuina olevien neljänsien pääkiertopumppujen koeohjelman mukainen käyttöönotto ei ollut kiellettyä. Reaktorin suojausjärjestelmästä oli erotettu korkeapaineisen apusyöttövesijärjestelmän käynnistämisehto osana koeohjelmaa, tosin yksitoista tuntia ennen tarvetta. Signaalia alhaisesta höyrynerottimen pinnankorkeudesta ei oltu INSAG:n tietojen mukaan erotettu, vaikkakaan erotus ei olisi ollut kiellettyä.

Reaktoripikasulkuehto kahden turpiinin pikasulusta kuului käyttöohjeiden mukaan olla erotettuna, mikäli laitos on alhaisella tehotasolla. Suojausten erottamisen menettelytavoissa on todettu puutteita, mutta kiellettyjä erotuksia ei oltu tehty. Erotuksilla ei ollut merkitystä neutronivuon valvontaan.

Kokeen mukainen turpiinin erotus tuli tehdä 700 MW termiseltä tehotasolta. Koe päätettiin tehdä kuitenkin 200 MW teholla. Ennen kohtalokkaiden tapahtumien viimeistä vaihetta reaktoria oli käytetty 50 % tehotasolla pitkään. Tämä oli johtanut siihen, että ksenonmyrkytyksen kompensoimiseksi säätösauvoja oli vedetty reaktorista.



*Tshernobylin kolmos- ja nelosreaktorit lokakuussa 1990. (Kuva J. Aurela)*

Kun tehoa lopulta lähdettiin alentamaan tasolle 200 MW muuttamalla säätömuoto lokaalista tehon säädöstä globaaliksi, putosi teho äkillisesti 520 MW:n tasolta noin 40 MW:iin. Aukko-osuuden pieneminen oli sitonut reaktiivisuutta. Saatettaessa epävakaa reaktoria hallintaan säätösauvaoperaatioiden avulla, tavoitteena 200 MW tehotaso, sydämessä olevien säätösauvojen määrä väheni edelleen.

Reaktorin vaikea hallittavuus oli laitoksen ohjaajille ennestään tunnettu asia. Sen sijaan ohjaajat eivät tienneet, että pikasulun tehokkuuden kannalta oli tärkeää, että sydämessä on riittävästi osittain sisällä olevia säätösauvoja. Rajoituksen pienimmästä sallitusta määrästä säätösauvoja oli ymmärretty tarkoittavan säätövaraa tehojakautuman paikalliseksi hallitsemiseksi. Pienen sallittu säätösauvatiheys on ekvivalenttisäätösauvatiheyttä kuvaava luku, joka määritetään laitostietokoneen avulla.

Tilanteessa, jossa automaattinen tehonsäätö nosti epävakaa reaktorin tehoa, laitostietokone ei tuottanut luotettavaa tietoa. Lopulta reaktori oli kuitenkin saatu vakaalta vaikuttavaan tilaan noin 200 MW:n tasolle.

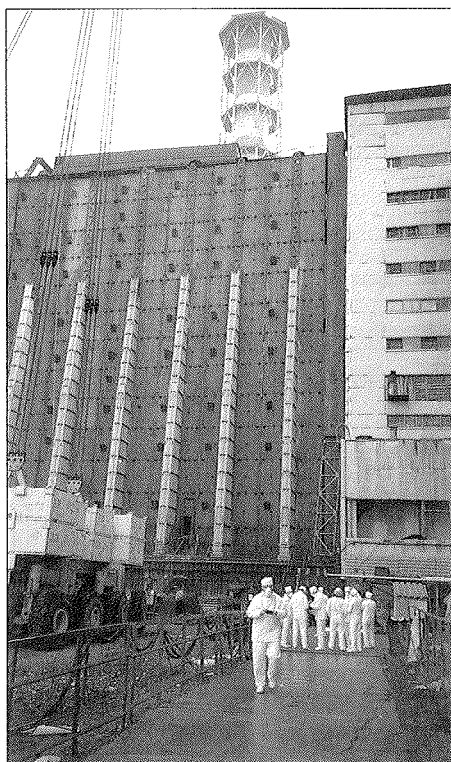
### **Kohtalokasta koetta seurasi kaksi räjähdystä**

Koe aloitettiin. Aikaa oli kulunut 36 sekuntia turpiinin ja generaattorin erottamisesta, kun laitoksella laukaistiin reaktoripikasulku käsioperaationa. Sydämeen menevät säätösauvat lisäsivät reaktiivisuutta sen sijaan, että ne olisivat sammuttaneet reaktorin. Sauvojen alapuolella sydämessä oli 1,25 metrin matkalla vettä. Tämän alueen yläpuolella oli säätösauvaan kuuluva grafiittiseuraaja, joka alkoi syrjäyttää vettä varsinaisen absorbaattorin alkaessa tulla sydämeen ylhäältä. Säätösauvoista tuli sydämen alaosaan positiivista reaktiivisuutta nopeasti niin paljon, että viivästyneiden neutronien osuus ylitettiin.

Reaktori oli tullut kerkeästi kriittiseksi. Aukko-osuus lisääntyi sen jälkeen siten, että arvioiden mukaan ylikriittisyys lopulta ylitti viivästyneiden neutronien osuuden tekijällä puolitoista ennen reaktorin tuhoutumista.

Räjähdyksiä kuultiin kaksi peräkkäin. Jälkimmäinen näistä oli aistihavaintojen mukaan voimakkaampi. Jälkimmäisen räjähdys on voinut aiheuttaa höyryräjähdys, toinen tehon kasvu tai kaasuräjähdys.





*Pohjoismaiden ydinteknisten seurojen ekskursioryhmä sarkofagin ulkopuolella lokakuussa 1990. (Kuva: J. Aurela)*

pikasulku on voinut olla voimakkaampi kuin mitä on saatu tulokseksi keskimääräisen tehojakautuman avulla.

Positiiviset takaisinkytkennät aiheuttivat reaktorin päättymisen vaaralliseen tilaan toiminnassa, jonka voi luokitella reaktorin kannalta vain voimalaitoksen normaaliksi käytöksi. Positiivinen pikasulku aiheutti nopean tehon kasvun. Positiivinen jäähdytteen tiheyskerroin toimi käyntiin lähtenytä tehon karkaamista vahvistavasti.

### Vastaavia kanavaongelmia ollut myös Leningradin laitoksella

Vuonna 1975 Leningradin voimalaitoksen ensimmäisellä yksiköllä tuhoutui täysin yksi virtauskanava ja kaikkiaan kolmekymmentä polttoainepussia kärsi suojakuorivaurioita, kun paikallinen teho kasvoi suureksi pikasulun jälkeisen reaktorin käynnistämisen aikana. Tämän tapahtuman jälkeen RBMK-laitokset on varustettu automaattisella paikallisen tehon säätöjärjestelmällä.

Toinen vastaava onnettomuus on tapahtunut Tshernobyl 1 -laitosyksiköllä vuonna 1982. Virtauskanavan säätöventtiilin aiheeton sulkeutuminen pysäytti virtauksen kanavaan ja teho nousi tässä kanavassa 450 MW:iin. Laitosyksikön termien teho oli ennen tapahtumaa 700 MW. Kanava tuhoutui ja lähimmät muut kanavat deformoituiivat merkittävästi.

### IAEA kokous pohti aukko-reaktiivisuutta

Osallistuin IAEA:n konsulttikokoukseen, jossa käsiteltiin RBMK-reaktoreiden aukko-reaktiivisuutta. Kokous pidettiin Moskovassa heinäkuussa 1995. Kokoukseen osallistui kaikkien RBMK-laitosten parissa tutkimustyötä tekevien

venäläisten organisaatioiden edustajia, muutamia laitosten käyttäjien edustajia sekä länsimaisia reaktorifysiikan asiantuntijoita. Kokouksessa käsiteltiin aukko-reaktiivisuuden laskennallisen ja kokeellisen määrittämisen nykytilannetta ja hankkeita näiden menetelmien kehittämiseksi sekä polttoaineen ja lisääbsorbaattorien käyttötapoja aukko-reaktiivisuuden alentamiseksi.

RBMK:n aukkokertoimen, joka kuvaa reaktiivisuuseroa vesitäytteen ja tyhjän virtauskanavan välillä, suurin sallittu arvo on nykyään sama kuin viivästyneiden neutronien osuus. Tyypillinen mitattu arvo on hieman pienempi. Ennen Tshernobylin onnettomuutta aukkokerroin oli tasapainotilaan ehtineissä sydämissä viisinkertainen viivästyneiden neutronien osuuteen nähden. Kerroin mitataan kahdeksan kuukauden välein.

Kolmidimensioisia laskentamenetelmiä käsiteltiin laajasti. Varsinaisia suoria vaikutuksia turvallisuusanalyysiin ei käsitelty. Laskentaohjelmilla oli saatu hyviä tuloksia kasvutekijän määrittämisessä. Kolmidimensioisen tehojakautuman laskeminen on kuitenkin vaikeaa. Reaktorien kolmedimensioista palamajakautumaa ei seurata. Näin ollen lähtökohta tehojakautumalaskujen varmentamiseen mittauksia vastaan on puutteellinen.

Kokouksesta jäi sellainen vaikutelma, että laitoksien ominaisuuksista oli olemassa paljon tietoa ja asiantuntemuksen taso oli korkea. RBMK-laitosten suunnittelusta vastaavan organisaation edustajan, joka toimi kokouksessa venäläisen osapuolen puheenjohtajana, lähestymistapa oli tosin kovin reaktiivinen. Venäläiset keskittyivätkin paljolti todistamaan, että aukko-reaktiivisuusasiat on hoidettu hyvin ja nykyinen toiminta on riittävää. Tästä huolimatta kokouksen lopputuloksena syntyi hyvä lista monenlaisia suosituksia, joiden tarkoitus on ylläpitää ja edelleen kehittää RBMK-reaktoreiden turvallisuustasoa.

DI Jyrki Peltonen on VTT Energian reaktorianalysiryhmän tutkija, p. (90) 456 5028

jähdys tai jokin yhdistelmä näistä. Toisen tehon kasvun mahdolliseksi syyksi on esitetty ylikriittisyyttä sydämen yläosassa jäähdytteen vapaututtua alaosan tuhoutumisen aiheuttaman virtauskanavien rikon jälkeen. Tosin säätösauvat olivat jo sydämen yläosassa.

Onnettomuuden selittämisessä ei ole tärkeintä se, mikä tarkasti oli säätösauvojen ja positiivisen aukkokertoimen keskinäinen merkitys. Oleellista on tunnistaa kaikki ne käyttötilat, joissa sammutusjärjestelmä ei kykene saattamaan laitosta turvalliseen tilaan.

Onnettomuutta edeltäneiden tuntien käyttöhistoria oli johtanut kaksihuippuiseen tehojakautumaan. Useiden jälkikäteen tehtyjen laskujen mukaan tällaisen tehojakautuman vallitessa säätösauvojen sisäänmeno aiheuttaa positiivisen reaktiivisuusinjektion. Kaksihuippuisuus ei vielä kuvaa suuren reaktorin tehojakautumaa yksikäsitteisesti. Kunkin kanavan tehojakautuma voi olla muodoltaan kaksihuippuinen. Tavallisesti kaksihuippuinen keskimääräinen tehojakautuma on kuitenkin summa jollakin alueella voimakkaasti ylöspäin painottuneesta ja jollakin toisella alueella alaspäin painottuneesta jakautumasta. Positiivinen

# SUOMALAISET YDINMIEHET AKTIIVISESTI MUKANA ITÄYHTEISTYÖSSÄ



*Tarve analysoida ja parantaa neuvostoydinvoimaloista vaarallimmiksi arvioituja RBMK-reaktoreita nousi 1990-luvun alussa esille Suomessa kuten muissakin länsimaissa. Suomen valtion budjetin rahoituksella on vuodesta 1992 lähtien tehty yhteistyötä Sosnovyi Borin ydinvoimalaitoksen turvallisuuden kohentamiseksi. Kaikkia puutteita ei niukoin resurssin ole mahdollista korjata, vaan on rajoitettu muutamiin selkeisiin kohteisiin. Ennen kaikkea on opastettu käyttöhenkilökuntaa auttamaan itse itseään. Hankittua tietoa ja kokemusta on saatettu hyvällä hyötysuhteella kansainvälisten selvitysten ja avustusohjelmien käyttöön.*

**R**BMK-reaktorien historia liittyy kiinteästi Neuvostoliiton ydinaseisiin. Plutoniumin tuotantoon tarkoitettuja kanavareaktorilaitoksia rakennettiin Uralille ja vieläkin kauemmas itään. Kehitetty konsepti siirrettiin myöhemmässä vaiheessa myös puhtaasti rauhanomaiseen sähköntuotantoon, mutta näitäkään laitoksia ei koskaan rakennettu Neuvostoliiton ulkopuolelle.

Plutoniumlaitokset kuuluivat keskiraskaan teollisuuden ministeriöksi naamioituneen puolustushallinnon haaran alaisuuteen. Tämä ministeriö rakennutti myös Sosnovyi Boriin Leningradin ydinvoimalaitoksen ykkös- ja kakkosyksiköt. Niiden olemassaolo kiellettiin tiukasti pitkään, vaikka rakennukset olivat suotuisalla säällä jopa selvästi nähtävissä Helsinki-Leningrad -reittikoneen ikkunasta.

Myöhemmät RBMK-yksiköt Sosnovyi Borissa, Kurskissa, Smolenskissa, Tshernobylistä ja Ignalinassa rakennettiin siviilihallinnon alaisina ja tietoja rakenteesta sekä toimintaparametreista

oli kohtuullisesti saatavilla. Suomessa tehtiin pääjohtaja Jauhon aloitteesta RBMK-reaktoreista 1980-luvun alussa arvio. Matti Vuorion ja Reino Virolaisen tulokset paljastivat tehon karkaamisen vaaran. Tieto ei kuitenkaan kiinnostanut venäläisiä.

## Tshernobylin turma teki RBMK-laitokset tunnetuiksi

Mielenkiinto lännessä oli kuitenkin varsin vähäistä vuoden 1986 huhtikuun 26. päivään eli Tshernobylin ydinvoimalaitoksen nelosyksikön tuhoutumiseen saakka. Tämän maailman vakavimman ydinlaitosturman syytä ja seurauksia ryhdyttiin selvittämään sitä mukaa, kun tietoja alkoi tihkua. Myös Suomessa voimayhtiöiden, viranomaisten ja tutkimuslaitosten asiantuntijat pureutuivat tapahtuman kulkuun sekä onnettomuusreaktorin rakenteeseen ja ominaisuuksiin.



RBMK-reaktorit olivat kuitenkin mukana IAEA:n maailmanlaajuisessa käyttöturvallisuuden ja käyttötapauksien arviointiohjelmassa. Tällainen tapahtuma oli mm. marras-joulukuussa 1989 Ignalinaan järjestetty ASSET-missio, johon osallistui Antti Norta IVO:sta. Arviointikohteena hänellä oli kaapelipalotapahtuma, joka ei kuitenkaan ollut mitenkään erityisesti RBMK-spesifinen ongelma.

Poliittiset muutokset 1990-luvun taitteen Itä-Euroopassa tarjosivat vihdoin länsimaaille mahdollisuuden puuttua kokonaan uudella tavalla neuvostovalmisteiden reaktoreiden turvallisuuteen. Entisen Itä-Euroopan maat vaihtoivat poliittisen järjestelmänsä ja avautuivat länteen. Neuvostoliitto hajosi ja RBMK-reaktoreita olikin yhtäkkiä kolmessa eri maassa.

Reaktoreiden huolestuttava tila tuli aiempaa julkisemmin länsimaiden tietoon. Itä-Euroopan maissa Tshernobylin onnettomuuden jälkeen omatoimisesti aloitettujen turvallisuuden parannusohjelmien toteuttaminen kärsi koko ajan pahenevasta resurssipulasta. 1990-luvun

alussa aloitettiin lukuisilla tahoilla niin kahden- kuin monenvälisiäkin ohjelmia neuvostovalmisteiden reaktoreiden turvallisuuden parantamiseksi.

### **Suomen bilateraali-ohjelma alkoi vuonna 1992**

Suomi aloitti oman kahdenvälisen ohjelmansa lähialueillaan sijaitsevien itäreaktorien parantamiseksi vuoden 1992 alussa. Sosnovyi Borin RBMK-laitosta koskevan ohjelman koordinoiti tuli Säteilyturvakeskuksen tehtäväksi, kun taas Kuolan VVER-440 -reaktorit sopivat luonteavasti IVO International Oy:n vastuulle.

Sosnovyi Boriin tehtiin tammikuussa 1992 Jukka Laaksosen johdolla avauskäynti, jonka yhteydessä yhteistyö-alueiksi sovittiin käyttöturvallisuus, paineenalaisten laitteiden tarkastustointi ja paloturvallisuus. Mukana oli STUK:n edustajien lisäksi IVO:n ja Suomen Atomivakuutuspoolin asiantuntijoita. Matkalle osallistui myös kaksi ruotsalaista, toinen paloalan ja toinen NDT-asiantuntija.

*Sosnovyi Borissa oleva Leningradin ydinvoimalaitos saa jäähdytysvetensä Suomenlahdesta.*

Hyvien lähtökohtien ansiosta Suomessa päästiin heti länsimaisen RBMK-tuntemuksen kärkijoukkoon. Esimerkiksi säätösauvojen sisäänajon hetkellinen positiivinen vaikutus reaktiivisuuteen oivallettiin meillä hyvin varhain. VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorio sovelsi VVER-analyysiin luotuja neutroniikkaohjelmistojaan RBMK-tapaukseen. Kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n piirissä onnettomuudesta tehtiin erilaisia selvityksiä. Arvovaltaisina arvioijia oli INSAG, johon Säteilyturvakeskuksen pääjohtaja Antti Vuorinen tuohon aikaan kuului.

Akuutin vaiheen jälkeen toiminta länessä kuitenkin laantui. Tehtyjen suppeiden arviointien ja analyysien laajentamiseen ei ollut tilausta eikä resursseja. Neuvostoliitto sulki edelleen tarkemmat tietonsa sisälleen. Jälkeen päin arvioiden menettelyä voi pitää tarkoituksellisenä: syy sysättiin käyttökäytännön niskoille eikä laitoskonseptiin sisältyviä heikkouksia haluttu riippumattomien asiantuntijoiden perinpohjin tutkittavaksi.



*Turvallisuusyhteistyösopimuksen allekirjoittivat Jukka Laaksonen Säteilyturvakeskuksesta ja Anatoli Jeperin Leningradin voimalaitokselta.*

Ruotsi aloittikin sitten oman ohjelmansa Liettuan Ignalinassa saman tien pääosin samoilla alueilla kuin suomalaiset Sosnovyi Borissa. Ruotsin avustushjelman päävetäjiksi tulivat Ruotsin ydinturvaviranomaisen SKI:n Jan Nistad ja Per Bystedt, jotka olivat olleet saamassa ensimmäisen oppinsa neuvostovoimailoista STUK:n mukana Balakovossa paria vuotta aiemmin.

Käyttöturvallisuusyhteistyön tarpeet Leningradin voimalaitoksella kartoitettiin suomalaisten ja Venäjän ydinturvallisuusviranomaisen GOZATOMNADZORin edustajien yhteisvoimin toimeenpanemalla, IAEA:n OSART-käytäntöä noudatelleella kolmi viikkoisella käyttöturvallisuustarkastuksella. Osallistujia Suomen 11-miehisessä, Jukka Laakson johtamassa tarkastustiimissä oli STUK:n (Pauli Kopiloff, Ilari Aro) lisäksi TVO:lta (Esko Haapala, Jussi Salmela, Tapio Kanerva, Reijo Sundell) ja IVO:sta (Pentti Siltanen, Klaus Sjöblom) sekä konsulttitoimistoista (Reino Pekkala, Seppo Silvennoinen) ja Ruotsista (Per Bliselius).

Todettujen aukkojen paikkaamiseen tarvittavan länsimaisen käyttökulttuurin siirtämiseksi itään laadittiin seuraavaksi koulutusohjelma. Leningradin voimalaitoksen henkilöstöä on sittemmin perehdytetty Suomessa lähinnä TVO:lla Olkiluodossa tällä hetkellä toimintatapoihin. Koulutus on jaettu viikon mittaisiin moduleihin. Koulutustoiminnan sivutuotteena TVO:n ja LNPP:n henkilöstön välille on syntynyt toimivia henkilösuhteita ja vastavuoroisia vierailuja on järjestetty myös ay- ja harrastustoiminnassa. TVO:n puolelta toimintaa koordinoi alkuvuosina Raimo Aaltonen ja hänen jälkeensä Eero Patrakka. STUK:sta koordinointia hoiti alussa Ilari Aro ja hänen jälkeensä Pentti Koutanieni.

### **Päähuomio putkistoihin, paloriskeihin ja turvallisuuskulttuuri**

Painettakantavien laitteiden tarkastamisen puutteet kartoitettiin vertailemalla venäläistarkastuksia suomalaisten tarkastajien tuloksiin. Ultraäänitarkastuslaitteiden toimitukset ja koulutus niiden käyttöön nähtiin kiireimminkin tarpeelliseksi. Myöhemmässä vaiheessa on



*Suomalaisiantuntijat esittämässä turvallisuusparannuksia. Kuvassa Antti Nortta (IVO), Yrjö Repo (IVO, tulkki), Jouko Marttila (STUK), Kristian Stenius (Atomivakuutuspooli).*

toimitettu myös radiografian laitteita. Todenmukaisen kuvan saamiseksi Sosnovyi Borin laitteiden eheydestä tärkeimpien putkistojen hitsausaumoja on tarkastettu suomalaistarkastajien (VTT ja Polartest) voimin. Tarkastukset ovat rajoittuneet yhteen laitoksikseen ja olleet sielläkin laajuudeltaan pistokokeen luontoisia, vieläpä isäntien osoittamissa kohteissa. Tulokset eivät ole olleet mitenkään hälyttäviä.

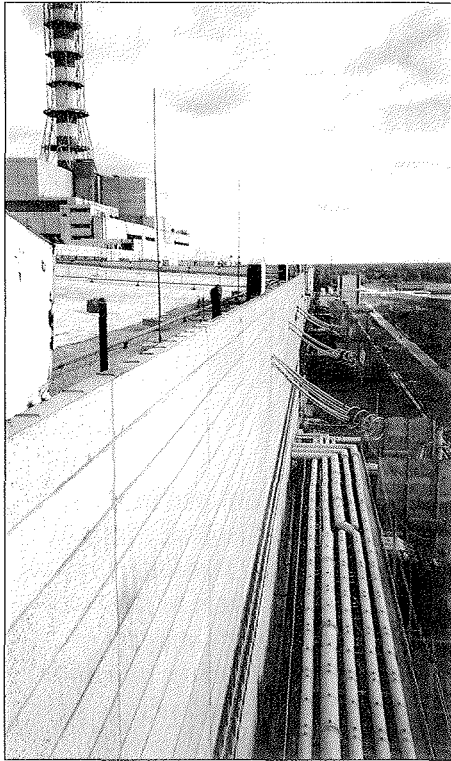
Tarkastustehtävän laajuuden ja työstä aiheutuvien suurien säteilyannosten takia on joka tapauksessa ensisijaista kohottaa laitoksen oman henkilöstön kykyä ja kapasiteettia tarkastustoiminnassa. Viimeaikaisin aluevaltaus on yhteistutkimuksen aloittaminen "vuotoennen-murtumaa" -oletuksen (LBB) paikkansapitävyydestä RBMK-reaktorien putkistoissa.

VTT:n Valmistustekniikka ja Energia ovat suomalaisen puolen päätoimijat. STUK:n koordinoivastuuta painettakantavien laitteiden osalta kokonaisuutena kantaa Heikki Saari. Rauli Keskinen on mukana LBB-osuudessa.

Paloriskikohteet kartoitettiin usean laitospöytäkirjan aikana vuonna 1992. Työn perusteella määritettiin tarvittavat parannustoimet ja laadittiin alustavat suunnitelmat. IVO Internationalissa Antti Nortan johdolla tehty työ johti varsin yksityiskohtaisiin suunnitelmiin, joiden asianmukaisuudesta onnistuttiin vakuutamaan sekä voimalaitoksen että alkupe- räisen laitossuunnitteluorganisaation pietarilaisen VNIPIETin edustajat.

Rakenteellisia muutoksia sekä palo-ilmoitus- ja sammutusjärjestelmien uusimista edellyttävät parannukset osoittautuivat kuitenkin liian kalliiksi toteuttaa nopeassa tahdissa kummankaan osapuolen käytettävissä olevilla resursseilla. Selkeitä erillisiä osa-alueita sen sijaan voitiin kohentaa suomalaisella avulla. Ensisammutusvälineet ja palokunnan varusteet olivat tällainen kohde, jossa Suomen Atomivakuutuspoolin tarkastajien Eino Huikon ja Jorma Korpelan määrittämiä tarpeita ryhdyttiin järjestelmällisesti tyydyttämään.

Palokunnan ja käyttöhenkilökunnan välisen viestinnän varmistamisen tarpeesta sai alkunsa laitosradiopuhelinjärjestelmän kehittäminen. Päätoimittajaksi



*RBMK-rakennuksilla on mittaa (Smolenskin voimalaitos).*

tuli Kim Söderlingin johdolla IVO International. STUK:n puolelta paloturvallisuusasioiden koordinoitiin ovat osallistuneet Heikki Reponen ja Jouko Marttila. Lähes korvaamattomaksi osoittautui tekniikan ylioppilas Heikki Aulamon panos niin paloturvallisuusyhteistyön kuin koko Leningradin ydinvoimalaitosta koskevan avustusohjelman hoitamisessa.

### **Tiedonvaihtoon ja säteilyvalvontaan uudet laitteet**

Laitoksen turvallisuuteen sinänsä vaikuttamaton tiedonkulun parantaminen laitostapahtumista ja mahdollisista säteilypäästöistä on ollut yksi tärkeä yhteistyömuoto. RADOS on toimittanut Sosnovyi Boriin ja sen ympäristöön gammamonitoriasemia, joiden mittaustiedot välitetään radioteitse voimalaitokselle ja edelleen jo aiemmin toimitettua satelliittiyhteyttä käyttäen Suomeen. Monitorointijärjestelmän vastuuhenkilö STUK:ssa on ollut Olli Vilamo ja satelliittiyhteyksistä vastaa Kristian Maunula.

Myös RBMK-laitoksen neutroniikan ja termohydrauliikan tutkimuksia on jatkettu VTT:llä.

### **Eurorahaa ja kansainvälinen RBMK-konsortio**

Euroopan jälleenrakennus- ja kehityspankki perustettiin 1990-luvun alussa saattamaan Keski- ja Itä-Euroopan maiden talous vapaan markkinatalouden kasvu-uralle. Vuonna 1993 pankin yhteyteen perustettiin ydinturvallisuusrahasto rahoittamaan vaarallisimmiksi tulkittujen itäreaktorien (VVER-440/230 ja RBMK) pikaista korjaamista silmälläpitäen sitä lyhyttä käyttöjaksota, mikä niillä olisi edessään ennen lopullista sulkemista. Rahaston ydinturvallisuusasiantuntijaryhmän jäseneksi kutsuttiin Suomesta Jukka Laaksonen. Tätä kautta päästiin vaikuttamaan jo ensimmäisiin rahoituspäätöksiin Bulgarian Kozloduin laitokselle ja Liettuan Ignalinan laitokselle.

Erityisen suuri suomalaisten vaikutusvalta oli seuraavaksi tehtyyn kolmea Venäjän ydinvoimalaitosta, Kuolaa, Leningradia ja Novovoroneshia koskevaan parannusohjelmaan. Rahaston henkilöstö nojasi osahankkeiden valinnassa pitkälti STUK:n ja Leningradin ydinvoimalaitoksen yhteistyössä tehtyihin selvityksiin ja suunnitelmiin. Rahoitettavien osahankkeiden sisällön teknillinen määrittely budjetointia ja hyväksymiskäsittelyä varten oli venäläisille vierasta ja niinpä työ tehtiin melkein kokonaan suomalaisvoimin. Tällä tavalla ohjelmaan voitiin sisällyttää pääosa kahdenvälisessä työssä tärkeimmiksi arvioiduista kohteista. Valitettavasti 30 miljoonan ECU:n määrärahaakaan ei ole riittävä kattamaan kaikkia tarpeita neljällä vanhanaikaisella laitossyksiköllä.

Suomen ja Ruotsin kahdenväliset ohjelmat Leningradissa ja Ignalinassa suuntautuivat konkreettisiin parannuksiin ja perustuvat yhteistyöhön laitosisäätöiden kanssa. Muiden länsimaiden hankkeet sen sijaan keskittyivät erilaisiin analyyseihin, joissa tarvittavia yhteistyökumppaneita ovat itäiset tutkimus- ja suunnittelulaitokset. Lähinnä näihin hankkeisiin Venäjä toivoi parempaa koordinaatiota, ja niinpä vuonna 1992 tehtiin päätös toteuttaa kansainvä-

linen RBMK-reaktoreiden turvallisuus selvitys.

Euroopan Unionin jäsenmaiden organisaatioiden rahoitus järjestyi IVY-maiden tekniseen apuun tarkoitettujen TACIS-ohjelmien budjetista. Loppujen lopuksi tätä rahaa jouduttiin käyttämään myös itäisen osapuolen palkkojen maksamiseen. Unionin ulkopuolisten länsiosallistujien, Suomen, Ruotsin ja Kanadan, kulut rahoitettiin kunkin maan kahdenvälisen ohjelman budjetista.

Yhdeksästä aihepiiristä suomalainen asiantuntija oli mukana viidessä: External events (Heikki Reponen), Engineering quality (Heikki Saari), Operating experience (Vesa Ruuska), Human factors (Ilari Aro), Regulatory interface (Heikki Reponen). Konsortion johtoryhmässä Suomen edustaja oli Jukka Laaksonen.

Erinäisistä hankaluuksista huolimatta työ saatiin päätökseen alkuvuodesta 1994. Saavutukseen oltiin molemminpuolin siinä määrin tyytyväisiä, että työtä päätettiin jatkaa. Ensimmäisen vaiheen selvityksen kohteena olivat nimittäin venäläisten vaatimuksesta yksinomaan tuoreimmat RBMK-yksiköt, Ignalina-2 ja Smolensk-3. Toisen vaiheen selvitys ulotettiin ykkös- ja kakkoskukupolveen. Tämä hanke käynnistyi vuoden 1995 puolella, jolloin Suomi ja Ruotsi EU:n uusina jäsenmaina olivat jo oikeutettuja saamaan kulunsa korvatuiksi EU:n TACIS-rahoilla. Kanada jatkoi kahdenvälisellä rahoituksellaan.

Eri aihepiirejä valittiin nyt 11 kappaletta, joista kuuteen tuli suomalainen osanottaja: In-Service-Inspection (Heikki Saari), Code validation (Keijo Valtonen), Analysis of specific events (Vesa Ruuska), Quality systems (Pentti Koutaniemi), Maintenance and ISI (Heikki Saari), Fire protection (Heikki Reponen). Johtoryhmässä Suomen edustus tuli jälleen Jukka Laaksoselle.

Tavoitteeksi asetettiin saada työ valmiiksi Tshernobylin onnettomuuden 10-vuotispäivään mennessä. Tämän työn yhteydessä on käynyt yhä selkeämmin ilmi, että RBMK-laitosten perusheikkoisuus on itse reaktori. Muissa osa-alueissa on pääosin kysymys muidenkin maiden ydinvoimalaitoksilta tutuista vanhentu-

neesta tekniikasta ja epätydyttävistä toimintatavoista. Reaktorin käyttäminen sen sijaan on luonteeltaan ainutlaatuinen ja vielä kymmenen vuoden kuluttua Tshernobylin onnettomuudesta ja lukemattomien kansallisten, kahden- ja kansainvälisten selvitysten jälkeen täysin puutteellisesti analysoitu. Selvästi on käynyt ilmi myös se, että laitoksen suunnittelijoillakaan ei missään vaiheessa ole ollut käytössään ohjelmistotyökaluja reaktorin toiminnan kattavaksi arvioimiseksi.

Suomen liittyttyä EU:n jäseneksi kansainvälinen RBMK-konsortio ei ole jäänyt suomalaisten ainoaksi EU-rahoitteiseksi RBMK-tehtäväksi. VTT on päässyt mukaan reaktorianalyysi- ja putkistojen murtumista selvittäviin projekteihin.

Myös IAEA tiivistä 1990-luvun alussa vanhoihin neuvostovalmisteisiin reaktoreihin kohdistuvaa toimintaansa ja perusti normaalibudjettinsa ulkopuolisen ohjelman VVER-440/230 ja RBMK-reaktorien turvallisuuskysymysten selvittämistä varten. Suomi ei ole osoittanut varoja tämän ohjelman budjettiin, mutta IAEA:n järjestämiin kokouksiin ja selvitysmatkoihin on osallistuttu aktiivisesti. IAEA:n RBMK-ohjelma on ollut tiiviissä yhteydessä EU-rahoittamaan kansainväliseen RBMK-reaktorien turvallisuus selvitykseen. Suomesta samat henkilöt, esimerkiksi Ilari Aro, Pentti Koutaniemi, Heikki Saari, Heikki Reponen, Vesa Ruuska ja Rauli Keskinen, ovat näin voineet hoitaa molempia projekteja.

**DI Heikki Reponen** on Säteilyturvakeskuksen kansainvälisten asioiden päällikkö ja hän vastaa lähi-alueiden reaktorien turvallisuusavun yleiskoordinoinnista, p. (90) 7598 8297.

Hannu Ollikkala

## RBMK-REAKTORIT TÄNÄÄN Turvallisuutta parannettu, mutta vakava onnettomuus edelleen mahdollinen

*Lähes kaikki Tshernobyl 4 -reaktoryksikön onnettomuuden aikana toiminnassa olleet RBMK-tyyppiset reaktorit ovat käytössä tänäkin päivänä, kymmenen vuotta onnettomuuden jälkeen. Reaktoreihin on tehty muutoksia onnettomuuden syynä olleiden reaktorien turvallisuuden kannalta epäedullisten ominaisuuksien muuttamiseksi ja suunnitteluvirheiden korjaamiseksi. Lisäksi on tehty ja on suunnitella parannuksia reaktorien turvallisuustason nostamiseksi ja käyttöön jatkamiseksi. Kaikkia RBMK-reaktoreihin liittyviä turvallisuusongelmia ei ole kuitenkaan pystytty, eikä todennäköisesti pystytäkään ratkaisemaan.*

**T**shernobylin onnettomuuden syistä on esitetty monia erilaisia teorioita ja syyllisiä on etsitty sekä reaktorin käyttäjistä että suunnittelijoista. Onnettomuuden perimmäiset syyt voidaan nykyisen yleisesti hyväksytyyn käsitykseen mukaan kiteyttää seuraavaan kolmeen reaktorin suunnitteluun ja reaktorin tilaan onnettomuuden alkutahdella liittyneeseen piirteeseen:

- reaktorille ominainen positiivinen jäähdytteen aukko-osuuden reaktiivisuuskertoimen
- pikasulkujärjestelmän toiminnasta aiheutunut reaktiivisuuden lisäys
- reaktoripiirin käyttö toimintapisteessä, jossa reaktorin ominaisuudet olivat epäedulliset reaktiivisuusmuutosten hallinnan kannalta.

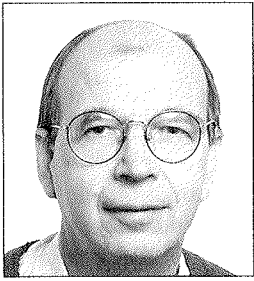
RBMK-reaktorien käyttöön, lataustapaan ja säätösauvajärjestelmiin myöhemmin kohdistuneet muutokset on tehty näiden reaktiivisuuskäyttäytymiseen liittyvien epäedullisten ominaisuuksien parantamiseksi.

### Valtionkomitealta pian uudet turvaohjeet

Kaksi viikkoa onnettomuuden jälkeen antoi silloisen Neuvostoliiton valtionkomitea ensimmäiset uudet määräykset RBMK-reaktorien käytöstä. Näiden määräysten tarkoituksena oli estää reaktoreiden käyttö vaarallisissa käyttötiloissa. Määräysten mukaan reaktoreita sai käyttää vain peruskuormalla ja niihin sisältyi mm. kaiken koetoiminnan kielto käyvillä laitoksilla.

Kuukauden kuluttua annettiin seuraavat määräykset, joiden tarkoituksena oli muuttaa reaktiivisuuskertoimia edullisempaan suuntaan ja poistaa pikasulkujärjestelmän aikaansaama positiivinen reaktiivisuuden lisäys.

RBMK-reaktorien dynaamisia ominaisuuksia voidaan parantaa lisäämällä reaktorissa olevaa absorbaattorimateriaalia. Määräysten mukaan reaktoreihin ladattiin 80 kappaletta pysyviä absorbaattorisauvoja. Operatiivisen reaktiivisuusrajan minimiarvoksi määrättiin vähintään 43 sauvaa. Operatiivisella reaktiivisuusrajalla tarkoitetaan täysin



tai osittain reaktorissa sisällä olevien säätösauvojen yhteistä reaktiivisuusarvoa.

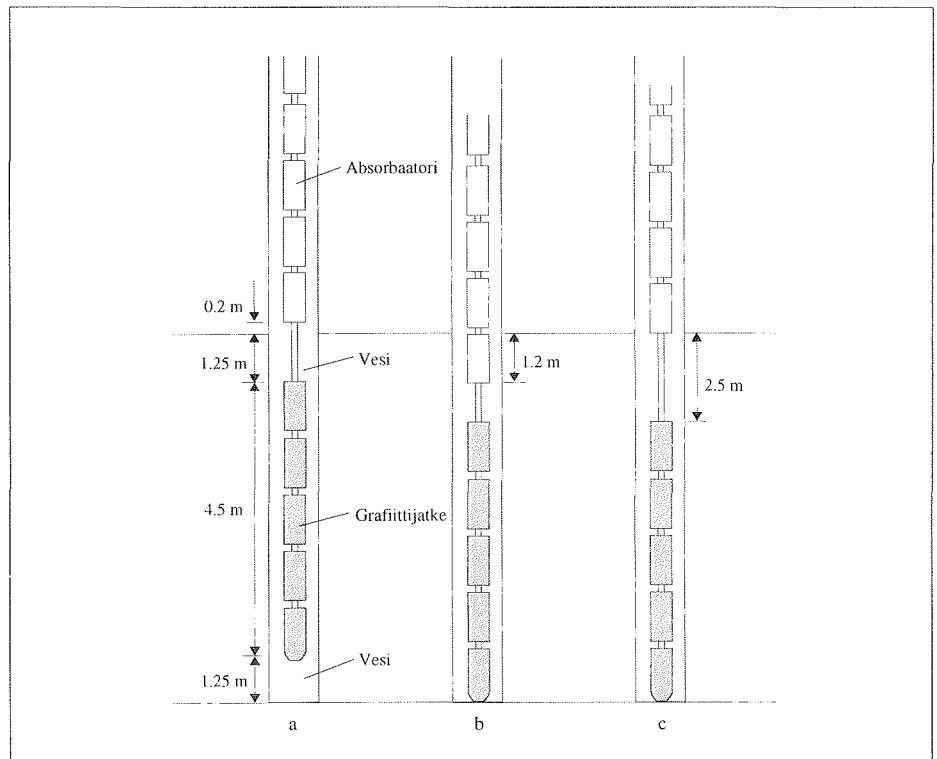
Operatiivisella reaktiivisuusarvolla on suuri vaikutus säätösauvojen tehokkuuteen pikasulun aikana. Säätösauvojen sallitaksi yläasennoksi muutettiin taso 1,2 metriä sydämen yläreunan alapuolella, koska säätösauvojen lähtiessä putoamaan sydämen yläreunan tasolta säätösauvan grafiittijatkkeen alapuolella olevan veden poistuminen reaktorista pikasulun yhteydessä lisäsi reaktiivisuutta.

Pitemmän aikavälin toimenpiteenä alettiin reaktoriin ladata 2,4 prosentin rikastusastetta olevaa polttoainetta poistettavien, alemmaa rikastusastetta olevien polttoainepippujen tilalle. Tällä toimenpiteellä vaikutettiin jäähtyneen aukko-osuuden reaktiivisuuskertoimeen, joka pieneni sitä mukaa kun korkeamman rikastusasteen polttoainepippuja ladattiin reaktoriin.

Operaattorin mahdollisuutta tarkistaa operatiivinen reaktiivisuusmarginaali parannettiin kehittämällä laskentamenetelmiä ja uusimalla laitosietokoneita. Myös uusia suojaussignaaleja otettiin käyttöön.

### Säätösauvajärjestelmiin tehtiin parannuksia

RBMK-reaktoreihin alunperin suunnitellun säätösauvajärjestelmän sauvojen sisäänmeno-aika reaktoriin pikasulussa oli 18 sekuntia. Pitkä sisäänmeno-aika johtuu osittain siitä, että sauvat joutuvat pudotessaan syrjäyttämään ohjausput-



*RBMK-reaktorin säätösauvojen ylä-asento:*

*a) ennen Tshernobylin onnettomuutta; b) ensimmäisen muutoksen jälkeen ja c) lopullisen muutoksen jälkeen.*

keksä olevan veden. Järjestelmään tehtyjen muutosten jälkeen sisäänmeno-aika saatiin lyhenemään 12 sekuntiin.

Pikasulkutoiminnan varmistamiseksi reaktoreihin on rakennettu uusi 24 sauvan pikasulkujärjestelmä, jonka sauvat pääsevät pikasulun aikana vapaasti putoamaan kaasun täyttämässä ohjausputkessa. Näitten sauvojen putoamis-aika reaktoriin on 3 sekunnin suuruusluokkaa.

Reaktorissa on myös osapitkiä säätösauvoja, joiden avulla pyritään hallitsemaan reaktorin aksiaalista tehojakautumaa. Näiden sauvojen lukumäärää lisättiin 22:sta 32:een.

Alkuperäisen suunnittelun mukaisten säätösauvojen rakennetta muutettiin siten, että niitä voidaan jälleen pitää täysin ulkona reaktorista ilman haitallista positiivista reaktiivisuusvaikutusta reaktoripikasulussa. Tämä toteutettiin lisäämällä säätösauvan grafiittijatkkeen ja absorbaattoriosan välisen osan pituutta.

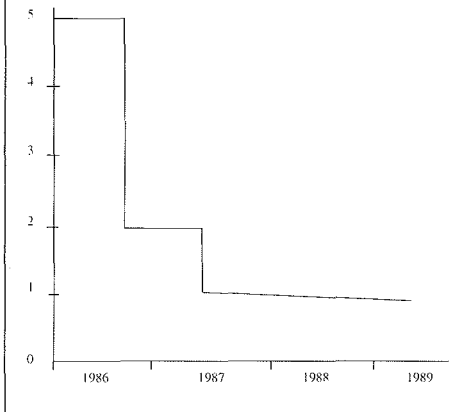
### RBMK-reaktoreiden käyttöikä tarkoitus jatkaa

Useimmat Tshernobylin onnettomuuden aikana käytössä olleet RBMK-reaktorit ovat edelleen tuotantokäytössä. Reaktoreihin on tehty ja ollaan tekemässä Tshernobylin onnettomuudesta johdosta tehtyjen parannusten lisäksi muitakin muutoksia, joiden tarkoituksena on paitsi reaktoreiden ydinturvallisuuden parantaminen myös reaktoreiden käytön jatkaminen tulevana vuosina. Esimerkkinä käyttöä jatkamiseen tähtäävistä muutoksista mainittakoon Leningradin RBMK-laitoksen ykkösyksiköllä tehty polttoainekanavien uusiminen. Osaltaan RBMK-reaktoreiden perusparannusohjelmien käynnistymiseen ja sisältöön ovat vaikuttaneet länsi-euroopan maiden huolestuminen ydinturvallisuudesta entisen Neuvostoliiton alueelle jääneiden ydinreaktoreiden turvallisuudesta.

RBMK-reaktoreiden perusparannusohjelmien sisältö vaihtelee laitossyksikkökohtaisesti. RBMK-reaktoreita voidaan sanoa olevan kolme eri sukupolvea ja samaakin sukupolvea olevat reaktorilaitokset voivat olla keskenään erilaisia.

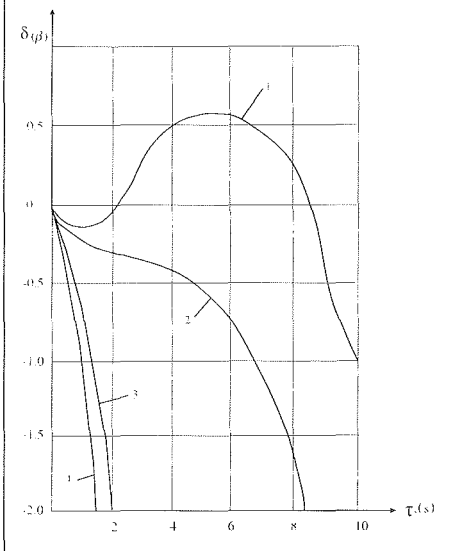


## Jäähdytteen reaktiivisuuserroin



Reaktoriin kohdistuneiden toimenpiteiden vaikutus aukko-ouuden reaktiivisuuskertoimeen Leningradin RBMK 1-yksiköllä.

## RBMK-reaktorin pikasulun laskettu reaktiivisuusvaikutus



Reaktiivisuusvaikutus:

- 1) Tshernobylin onnettomuus, operatiivinen reaktiivisuusmarginaali (ORM 7 sauvaa)
- 2) ORM = 15 sauvaa
- 3) Muutettu pikasulkujärjestelmä, ORM = 30 sauvaa
- 4) Muutettu ja nopeutettu pikasulkujärjestelmä

Lisäksi reaktorit ovat nykyään kolmen eri maan, Venäjän, Ukrainan ja Liettuan alueella. Ydinturvallisuuden kannalta merkittävät erot eri reaktorisukupolvien välillä ovat suurten putkistovuotojen varalle rakennetuissa turvallisuusjärjestelmissä.

Ensimmäisen sukupolven RBMK-laitoksen hätäjähdytysjärjestelmän suunnitteluperusteena on halkaisijaltaan 300 mm putken katkeaminen. Reaktori-piirissä on kuitenkin pääkiertopumpun jälkeiset painekollektorit, joiden halkaisija on 900 mm.

Toisen sukupolven laitosyksiköissä on hätäjähdytysjärjestelmät suunniteltu painekollektorin murtuman varalle. Esimerkiksi Leningradin RBMK-laitoksen ensimmäistä sukupolvea olevan ykkösyksikön hätäjähdytysjärjestelmiin tehtyjen parannuksien tarkoituksena on ollut 900 mm putken murtumaa vastaavan vuototilanteen hallinta.

Turvallisuusarvioinneissa hyvin tärkeäksi havaitun reaktoritilan ylipainesuojauksen kapasiteettia on pyritty lisäämään. Alunperin tämän tilan ylipainesuojaus on suunniteltu vain yhden polttoainekanavan vauriotilanteeseen. Jos tilan paine kasvaa liian suureksi, on seurauksena reaktorin yläpuolella olevan massiivisen betonilaatan nouseminen paikaltaan, jolloin kaikki polttoainekanavat vaurioituvat samanaikaisesti kun säätösauvat nousevat kannen mukana pois reaktorista. Tällaisen onnettomuustilanteen seuraukset eivät paljонkaan poikkeaisi Tshernobylin onnettomuudesta.

Leningradin laitoksen ykkösyksiköllä on reaktoritilan ylipainesuojausta tehostettu siten, että ylipainesuojauksen on laskettu riittävän neljän polttoainekanavan yhtäaikaisessa vauriossa.

Eräs RBMK-reaktoreiden parannusten perusongelma on länsimaista vaatimustasoa vastaavan suojarakennuksen rakentamisen mahdottomuus. Toisen sukupolven reaktoreilla on tosin ns. onnettomuuden lokalisointijärjestelmä, mikä on osan primääripiiriä kattava lauhdutusallastyypinen suhteellisen kaasutiivis rakennelma. Onnettomuuden lokalisointijärjestelmä on suunniteltu 300 mm putkivuodon varalle.

Ensimmäisen sukupolven laitosyksiköt on suunniteltu varustettaviksi vastaavilla rakennuksilla. Sensijaan reaktorin yläpuolella olevaa reaktorihallia ja höyryrumpujen huonetiloja voidaan tuskin ympäröidä rakennuksella, jonka suunnitteluvaatimukset vastaisivat länsimaisille suojarakennuksille asetettuja.

Koska suurien putkistovuotojen seurauksen hallitseminen on havaittu ongelmaksi, on monilla RBMK-laitoksilla panostettu vuotojen estämispuoleen kehittämällä vuoto-ennen-murtumaa-konseptia siihen liittyvine tarkastus- ja vuodonvalvontamenetelmineen.

## Turvallisuustaso parantunut huomattavasti

Vuonna 1986 tapahtuneen Tshernobylin onnettomuuden jälkeen tehdyillä muutoksilla on huomattavasti parannettu RBMK-reaktoreiden turvallisuutta pienentämällä jäähdytteen aukkosuuden reaktiivisuuserrointa, poistamalla positiivista reaktiivisuutta aikaansaavan pikasulun mahdollisuus ja lisäämällä pikasulun nopeutta. On hyvin epätodennäköistä, että Tshernobylin luokkaa oleva reaktiivisuusonnettomuus voisi tapahtua näiden muutosten jälkeen. Huolimatta näistä ja reaktoreihin tehdyistä muista parannuksista RBMK-reaktoreiden perusrakenne on kuitenkin sellainen, että vakaviin ympäristövaikutuksiin johtavan onnettomuuden mahdollisuus on edelleen olemassa.

DI Hannu Ollikkala on Säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusosaston ylitarkastaja, p. (90) 7598 8333.

# TSHERNOBYLIN TURMAN YHTEISKUNNALLISET VAIKUTUKSET

## Tältä ne näyttävät lehtimiehen näkökulmasta

**K**un luin moskovalaisessa sairaalassa tehtyjä raportteja, miten sinne Tshernobylistä hoitoon tuodut ihmiset muuttuivat ensin mustiksi ja hiiltyivät kuoliaaksi, vasta silloin ymmärsin, kuinka vaarallista näkymätön, hajuton, mauton ja äänetön ydinsäteily suurina annoksina on kaikelle elolliselle.

Neuvostoviranomaisten mukaan Tshernobylin onnettomuudessa huhtikuussa 1986 kuoli vain 31 ihmistä ja 145 sai säteilytautiin. Neuvostoliiton hajottua julkisuuteen tulleet luvut ovat olleet paljon suurempia. Ihmiset eivät luota enää viranomaisten antamiin tietoihin. Ne poikkeavat liian paljon siitä, mitä he kuulevat ja näkevät ympärillään.

Tshernobylin ydinonnettomuuden seurauksista on vaikea saada tarkkaa kuvaa. Viranomaiset vähättelevät onnettomuutta ja sen seurauksia. Elinympäristönsä tilasta huolestuneilla ja pelokkailla ihmisillä on taas taipumus liioitella seurauksia.

### Jokapäiväinen huoli säteilystä

Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuus koskettaa eniten Ukrainaa ja Valko-Venäjää. Yli 50 miljoonan asukkaan Ukraina on 2,5 kertaa Ison-Britannian kokoinen. Kymmenen miljoonan asukkaan Valko-Venäjän pinta-ala on runsaat 200 000 neliökilometriä. Onnettomuus saastutti jossain määrin Valko-Venäjän lähes kokonaan ja yli puolet Ukrainan pinta-alasta.

Ukraina ja Valko-Venäjä ovat maatalousmaita. Niiden maataloustuotteiden ja elintarvikkeiden tuotanto ja vienti kärsivät suurista vahingoista. Samalla maille tärkeät vientitulot romahtivat. Kukaan ei haluaisi ostaa ja syödä radioaktiivisia

*Tshernobylin onnettomuuden yhteiskunnalliset vaikutukset koskettavat koko maailmaa. Onnettomuus hidastaa ydinvoiman rauhanomaista käyttöä ja ydintekniikan kehitystä. Onnettomuuden suoraanaiset yhteiskunnalliset vaikutukset ovat suurimmat Ukrainassa ja Valko-Venäjällä, jossa taloudelliset vahingot ovat mittavat ja inhimilliset kärsimykset suuret. Onnettomuus vaikuttaa monen sukupolven ajan erityisesti Ukrainan ja Valko-Venäjän kansantalouteen, elintarviketuotantoon, terveydenhoitoon, sosiaalitoimeen ja ihmisten pelkoihin.*



*Onnettomuuden alussa ilmeisesti räjähdyksessä kuolleen Valery Hodemzkin muistomerkki.*

elintarvikkeita. Paikallisen väestön on syötävä sitä, mitä omilla pelloilla kasvaa. Puhtaisiin tuontielintarvikkeisiin ei ole varaa.

Tshernobylin onnettomuus muistuttaa ihmisiä joka päivä Ukrainassa ja Valko-Venäjällä, kun he ostavat ruokaa. He miettivät, onko lihan tai leivän saasteetomuuksistodistus aito vai väärennetty ja ovatko elintarvikkeet varmasti puhtaita säteilystä? Ihmiset näkevät, kuinka raivaustöissä ollut perheen jäsen tai naapuri kuihtuu silmissä säteilyn aiheuttamiksi epäiltyihin sairauksiin eikä kukaan voi auttaa häntä.

Ukraina tarvitsee energiaa, vaikka sen käyttöä on säännöstelty. Ydinvoimalle ei löydy nopeasti korvaavia vaihtoehtoja, joihin maalla olisi varaa. Paikallisten asukkaiden vaihtoehdot ovat kuitenkin vähissä. Työpaikka ja asunto on otettava sieltä, mistä sen saa. Tshernobylin ydinvoimalan 30-kilometrisen turvavyöhykkeen sisäpuolella työskenteli yli 13 000 työntekijää jo huhtikuussa 1994.

### **Ydinhaittoja miljoonille ihmisille**

Ukrainan ja Valko-Venäjän saastuneilta alueilta evakuoitiin yli 700 000 ihmistä vielä 1990. Ukrainan korkeimman neuvoston hyväksymien annosrajojen mukaan evakuoitavia ihmisiä oli Ukrainassa yli 500 000 vielä helmikuussa 1991. Neuvostoliittolainen diplomaatti Vladimir Lomeiko arvioi YK:n tiede- ja kulttuurijärjestön UNESCO:n kokouksessa joulukuussa 1991, että Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuus vaikuttaa yli neljään miljoonaan ihmiseen, joista 800 000 on lapsia.

Valko-Venäjän ulkoministeri Pjotr Kravtshenko kertoi tammikuussa 1992, että onnettomuus saastutti 99 prosenttia Valko-Venäjän maa-alueesta. Kravtshenko luonnehti kaksi vuotta myöhemmin Lontoossa, että Tshernobylin onnettomuus oli kuin rajoitettu rauhan aikana suoritettu ydinisku, jonka seurauksena 800 000 lasta kärsii säteilyn seurauksista ja 18 prosenttia maan viljelystä peltopinta-alasta on käyttökelvotonta.

### **Säteilyn uhreista pääosa "likvidaattoreita"**

Tshernobylin asiantuntija Vladimir Tshernosenko joutui itsekin säteilyn uhriksi. Hän väittää, että onnettomuudessa kuoli 7 000–10 000 ihmistä. He olivat pääasiassa vankeja, kaivostyöläisiä ja sotilaita, jotka komennettiin puhdistamaan aluetta onnettomuuden jälkeen. Alueen puhdistustöihin osallistui noin 700 000 ihmistä, joista Ukrainan Tshernobyl-komitean varapuheenjohtajan Vladimir Shokovshitin mukaan noin 7 000 on kuollut säteily sairauksiin. Urien lukumäärän uskotaan vielä nousevan tulevina vuosina.

Tshernosenkon mukaan neuvostoviranomaiset kertoivat Kansainväliselle atomienergiajärjestölle IAEA:lle, että vain kolme prosenttia räjähtäneessä reaktorissa olleista polttoaineen radioaktiivisista aineista pääsi ilmaan, mutta todellinen määrä on hänen mukaansa 60–80 prosenttia. Tshernosenkon ja Shokovshitin väitteitä tukevat välillisesti tiedot, että onnettomuusalueelle lähetyillä ihmisillä ei ollut kunnollisia suojavarusteita ja heille annetut säteilymittarit eivät toimineet.

Toisaalta ydinvoimalainsinööri Aleksander Sichin Massachusetts Institute of Technologyssä 1994 tarkastetun väitöskirjan mukaan Tshernobylin radioaktiiviset päästöt olivat 10 ensimmäisen päivän aikana 185–250 miljoonaa curieta, kun neuvostoviranomaiset elokuussa 1986 ilmoittivat niiden suuruudeksi vain 50 miljoonaa curieta.

### **Valtio väistelee korvausvastuuta**

Ihmiset epäilevät, että lääkärit kirjoittavat kuolintodistukseen vainajan kuolinsyyksi esimerkiksi influenssan, vaikka ihminen olisi kuollut säteilyn jälkiseurauksiin. Valtio joutuisi maksamaan eläkettä vainajan puolisolle ja lapsille, jos kuolinsyy olisi ydinsäteily. Kun kuolinsyy on influenssa, valtio pääsee korvausvastuustaan.

Virkamiehiä ei kiinnosta perheen toimeentulo. Ukraina ja Valko-Venäjä heiluvat konkurssin partaalla. Valtioilla ei ole varaa maksaa korvauksia, mitkä

onnettomuuden uhreille on luvattu ja lailla vahvistettu. Tilanne on sama myös Venäjällä, joka lupasi 1993 huomattavan, noin 500 000 markan kertakorvauksen säteilyvaurioista kärsiville. Valtion apteekeissa ei ole säteilyn uhreille määrättyjä lääkkeitä ja sairastuneilla ihmisillä ei ole varaa ostaa lääkkeitä mustasta pörssistä. Luvatut edut ovat supistuneet ilmaisiin matkoihin julkisissa liikennevälineissä ja neljännekseen ruuan hinnasta.

### **Säteilylle altistunut 800 000 ihmistä**

Tshernobylin onnettomuuden aiheuttamista syöpä-, ym. sairauksista ja vaikutuksista on kiistelty paljon. Tilastoja löytyy puolin ja toisin. Epämuodostuneita lapsia on syntynyt aina ja syöpää on esiintynyt aina, mutta ei niin paljon kuin onnettomuuden jälkeen.

Kaksi vuotta sitten Venäjällä myönnettiin, että noin 170 000 sammutus- ja raivaustöihin ilman suojavarusteita osallistunutta "likvidaattoria" oli altistunut säteilylle. Onnettomuuden seurauksena altistuneita on arvioitu olevan kaikkiaan noin 800 000 ihmistä. Tshernobylin säteily ja sen psykologiset vaikutukset ovat aiheuttaneet syöpiä sekä veri-, sydän-, maksa- ja vatsasairauksia, ennenaikaista vanhenemista, migreeniä ja muistinmenetystä. Tämä on yleinen käsitys. Texasissa toimivan syöpäkeskuksen johtajan Armin Wienbergin mukaan Tshernobylin psykologiset vaikutukset ovat olleet vähintään yhtä tuhoisat kuin itse räjähdys aiheuttamat.

### **Valtavat vahingot maataloudelle ja tuleville sukupolville**

Tshernobylin onnettomuuden yhteiskunnalliset vaikutukset ovat valtavat varsinkin Ukrainassa ja Valko-Venäjällä. Miljoonat ihmiset kärsivät ydinhaitoista. Ukraina ja Valko-Venäjä ovat maatalousmaita. Onnettomuus saastutti viljelykelvottomaksi viidenneksen Valko-Venäjän peltopinta-alasta ja merkittävät alueet myös Ukrainassa. Maataloudelle ja elintarviketuotannolle aiheutuneet vahingot ovat kansantaloudellisesti mittavat ja pitkäaikaiset.

Monta sukupolvea maksaa onnettomuuden laskua. Tuhansien ihmisten uskotaan menehtyneen säteily sairauksiin. Sadattuhannet ihmiset ovat altistuneet säteilylle. Onnettomuus aiheuttaa valtavia terveydenhoidon ja sosiaalitoimen lisäkustannuksia vuosikymmenien ajan. Inhimilliset kärsimykset eivät rajoitu pelkästään säteily sairauksiin. Ihmisillä on jatkuva huoli, syntyvätkö lapset terveinä vai epämuodostuneina, onko ilmassa yhä säteileviä hiukkasia ja saavatko he saasteetonta ravintoa ja vettä?

Onnettomuus herätti keskustelun ydinmateriaalin käsittelystä entisen Neuvostoliiton alueella. Sotilaallinen ja kokeellinen ydinmateriaalin käyttö on ollut holtitonta neuvostovallan aikana. Niiden aiheuttamat tuhot kärjistävät Venäjän ja entisten neuvostasavaltojen välisiä suhteita. Venäjä peri Neuvostoliiton paikan esimerkiksi YK:ssa, mutta ei vastaa muuten sen velvoitteista. Ydinaseitten jälkeen Tshernobylin onnettomuus hidastaa eniten ydinvoiman rauhanoimaista käyttöä ja ydintekniikan kehitystä koko maailmassa. Tshernobylin onnettomuuden yhteiskunnalliset vaikutukset ovat globaaliset.

Toimittaja **Manu Paajanen** työskentelee Itälehden palveluksessa, p. (90) 5077 365.

# LASTEN KILPIRAUHASSYÖPÄ LISÄÄNTYNYT TSHERNOBYLISSÄ

## Muut terveysongelmat liittyvät katastrofiin epäsuorasti

*Tshernobylin laskeumalle altistuneessa väestössä Valko-Venäjällä, Ukrainalla ja Venäjällä on ilmennyt laajalti psyykkisiä ja fyysisiä terveysongelmia, jotka eivät liity suoraan säteilyyn. Ongelmat ovat yhteydessä evakuoitnin mukanaan tuomiin mullistuksiin sekä monenlaisiin säteily suojelutoimien aiheuttamiin rajoituksiin. Pelko oman ja lasten terveyden puolesta on vaikuttanut psyykkiseen hyvinvointiin myös verraten puhtailla alueilla. Säteilyyn suoraan liittyviä vaikutuksia on tähän verrattuna vähän. Onnettomuusyönä pelastustöihin osallistuneista 30 kuoli äkillisiin säteilyvammoihin. Yksi kuoli tapaturmaisesti paikan päällä. Myöhemmin on ilmennyt noin 600 lasten kilpirauhassyöpää. Muita suoraan säteilyyn liittyviä terveysvaikutuksia ei ole toistaiseksi todettu.*

**T**änä vuonna on kulunut 10 vuotta maailman tähän mennessä pahimmasta ydinkatastrofista. Silloisen Neuvostoliiton alueella merkittävä laskeuma saastutti 130 000 neliökilometrin alueen, jossa asui 5 miljoonaa ihmistä. Lisäksi katastrofin jälkiselvittelyssä säteilylle altistui satoja tuhansia puhdistustyöntekijöitä, jotka tulivat eri puolilta Neuvostoliittoa.

Ainutlaatuista on katastrofin vaikutuksen laajuus ja altistuneen väestön suuruus. Säteilyn terveysvaikutuksista on ennestään tietoa useasta eri lähteistä, joista suurin ja tärkein on Japanissa toisen maailmansodan lopussa atomipommille altistuneet ihmiset. Näitä on noin satatuhatta. Muut tutkitut ihmisryhmät ovat olleet pienempiä. Myös altistuksen tyyppi on ainutlaatuinen. Japa-



nissa altistus oli pääasiassa hetkellistä ulkoista gammasäteilyä. Tshernobylin laskeuma puolestaan aiheutti pitkään kestävästä altistuksesta sekä ulkoiselle että sisäiselle säteilylle, ennen kaikkea cesiumille. Myös radioaktiivista jodia joutui väestön elimistöön, ja radiojodi altisti säteilylle etupäässä kilpirauhasta. Vain Marshall-saarien asukkaiden altistus ydinkoelaskemalle muistuttaa tätä tilannetta, mutta näitä asukkaita oli vain satakunta.

### Eniten säteilyä saivat voimalan työntekijät

Tshernobylin katastrofissa eniten altistuivat runsaat neljäsataa työntekijää, jotka olivat reaktorissa onnettomuuden yönä. Heistä noin kahdelle sadalle



*Kilpirauhassyövän ilmaantuvuus lapsilla on noussut pahimmin saastuneilla alueilla Valko-Venäjällä sataan ja Ukrainan pohjoisosissa sekä Länsi-Venäjän saastuneilla alueilla kymmeneen. Kaiken kaikkiaan tapauksia on jo yli 600.*

## Väestöllä paljon erilaisia terveysongelmia

Kun kymmenen vuotta on kulunut, joitakin tärkeitä johtopäätöksiä katastrofin vaikutuksista väestön terveydentilaan voidaan jo vetää. Osittain nämä vaikutukset ovatkin tulleet yllätyksenä.

Yllätyksenä on tullut, että väestössä on ilmennyt paljon sellaisia terveysongelmia, jotka eivät suoranaisesti liity säteilyaltistukseen. On rekisteröity aikaisempaa enemmän melkein kaikkia mahdollisia sairauksia: hermoston sairauksia, ruuansulatuselinten sairauksia, virtsaelinten sairauksia, psyykkisiä häiriöitä, umpieritysrauhasten sairauksia jne. Osittain tämä selittyy varmasti terveyspalvelujen paremman saatavuuden ja tehokkaamman rekisteröinnin perusteella. On toisaalta käynyt ilmi, että jatkuva pelko oman ja lasten terveyden puolesta sekä yleinen epävarmuus tulevaisuuden suhteen on aiheuttanut runsaasti todellisia vaivoja.

Kyselytutkimuksissa on todettu, että epämääräiset oireet, kuten päänsärkyä, väsymystä, paineen tunnetta rinnassa, ruuansulatusvaivaa, uihäiriöitä, keskittymisvaikeuksia ja alkoholin väärinkäyttöä esiintyy huomattavan paljon. Oireet ovat tyypillisiä ihmisille, jotka elävät psyykkisen paineen alaisina. Ominaista on myös, että säteilyä pidetään jok'ikisen vaivan syynä, hammassärystä ja influenssasta alkaen. Usko tulevaisuuteen on heikko. Asiaa pahentaa entisen Neuvostoliiton alueella näinä vuosina tapahtunut sosiaalinen mullistus, joka on vaikeuttanut monen ihmisen toimeentuloa.

Kotiseudultaan poissiirrettyssä väestössä ongelmat ovat korostuneet. Nämä ihmiset ovat kärsineet tutun arkielämän ja sosiaalisten siteiden katkeamisesta ja ovat joutuneet sopeutumaan uuteen,

kehittyi myöhemmin äkillinen säteilyläänsairaus. Monella oli myös pahoja säteilyn aiheuttamia palovammoja. Heidän joukossaan on 30 kuolonuhria.

Tämäntyyppisiä äkillisiä säteilyvaurioita ei kehittynyt kenellekään reaktorialueen ulkopuolella. Puolitoista vuorokautta onnettomuudesta päätettiin evakuoida kaikki 49 000 asukasta kolmen kilometrin etäisyydellä sijaitsevasta Pripjatin kaupungista. Heille annettiin samalla joditabletti. Kymmenen päivän sisällä evakuoitiin kaikki ihmiset 30 kilometrin säteeltä reaktorin ympärillä. Myöhemmin evakuointi vielä laajennettiin koskemaan asutuksia, joissa arvioitu vuosittainen kokonaisannos uhkasi nousta yli sovitun rajan. Yhteensä evakuointi koski 135 000 ihmistä.

Evakuointien jälkeen 270 000 ihmistä jäivät asumaan alueille, jotka olivat niin saastuneita, että monenlaiset elämänrajoitukset olivat tarpeen (ns. tarkan kontrollin alueet). Heidän terveydentilaansa seurataan tarkasti. Näiden lisäksi vielä 4,5 miljoonaa ihmistä asuu lievemmin saastuneilla alueilla.

Useat kansainväliset järjestöt, mm. WHO, ovat panostaneet paljon saastuneilla alueilla asuvien ihmisten auttamiseksi ja terveysongelmien selvittämiseksi. Paikalliset panokset ovat myös olleet suuria. Tämän seurauksena terveyspalvelujen saatavuus ja yleinen terveydenhuollon taso on alueilla huomattavasti noussut. Maaseudun syrjäkylissä tässä suhteessa on aikaisemmin ollut suuria puutteita. Tästä on toisaalta ollut seurauksena myös se, että väestön todelliset sairastavuustiedot ovat olleet hyvin puutteellisia. Tämä asia on pidettävä mielessä, kun pohditaan onnettomuuden mahdollisia vaikutuksia väestön terveydentilaan.

Terveydenhuollon yleisen tason paljon käytetty, objektiivinen mitta on vastasyntyneiden kuolleisuus. Tämä onkin esimerkiksi pahasti saastuneen Gomelin alueella Valko-Venäjällä laskenut onnettomuutta edeltäneeltä tasolta 16,3 tuhatta vastasyntyntä kohti onnettomuuden jälkeen tasolle 13,1. Suomessa vastaava luku on 6, mikä on koko maailman alhaisin.



tuntemattomaan ympäristöön. Lisäksi uudella paikkakunnalla heihin on usein suhtauduttu kielteisesti, mm. kadehtien heidän saamiaan taloudellisia etuja. Heistä on tullut saastunut parialuokka, jonka kanssa ei esimerkiksi pidä mennä naimisiin, koska pelätään lapsissa perimävaurioita.

Väestönsiirtojen kokonaisvaikutus väestön terveydentilaan on ollut erittäin kyseenalainen. Tämän oivallus, yhdessä taloudellisten näkemysten kanssa, oli osasyynä siihen, että väestönsiirto-ohjelma lopetettiin.

### **Sieniä, marjoja ja oman puutarhan tuotteita tarvittaisiin**

Tarkan kontrollin alueilla monenlaiset elämän rajoitukset, jotka vähentävät ihmisten säteilyaltistusta, ovat vaikuttaneet kovin kielteisesti yleiseen hyvinvointiin. Kaupunkilaisen on ehkä vaikea mieltää, miten tärkeä osa elämää maaseudun pikkukylässä voi olla luonnossa vaeltaminen, marjojen ja sienien keruu sekä oman pienen keittiöpuutarhan pitäminen. Kun tämä kaikki kielletään, kärsii paitsi mieliala myös suorastaan ravitsemustila. Tilanteessa, jossa muu ruoka on niukkaa ja yksipuolista, metsästä ja omasta puutarhasta saatavat tuotteet ovat tärkeä lisä.

Asiaa on pahentanut asukkaiden epäluulo virallisia tiedonlähteitä kohtaan. Ulkopoولiset tiedemiehet kertovat, että levottomat äidit kysyivät heiltä vielä viisi vuotta onnettomuudesta, voivatko he antaa lastensa leikkiä ulkona. Tällöin ei voi ihmetellä, jos lapsetkin ovat väsyneitä kuten on kerrottu.

Yhdessä tutkimuksessa vertailtiin 500 asukkaan subjektiivista ja objektiivista terveydentilaa saastuneissa ja puhtaissa asutuskeskuksissa. Kliininen tutkimus ei paljastanut eroa ryhmien välillä. Sen sijaan haastattelussa tuli eroja esille stressiin liittyvissä oireissa kuten väsymys, ruokahaluttomuus ja rintakipu. Myös viinan käytössä oli eroa. Päänsärky ja masennus olivat kummassakin ryhmässä hyvin yleisiä.

Saastuneella alueella 45 prosenttia väestöstä uskoi, että heillä on säteilystä johtuva sairaus. Sama uskomus oli peräti

30 prosentilla puhtaallakin alueella asuvilla. Tämän tueksi ihmiset kertoivat lukuisista oireista, joiden tiedetään liittyvän stressiin, mutta ei säteilyyn.

Kiovaan ei tullut merkittävää laskeumaa, koska tuulet veivät saasteet toiseen suuntaan. Kuitenkin myös Kiovan haastattelututkimuksessa tuli esille, että puolet katsovat onnettomuuden vaikuttaneen jollakin tavalla heidän tai heidän perheensä terveyteen.

### **Lasten kilpirauhassyöpä lisääntynyt selvästi**

Kaikkien näiden todellisten ja kuviteltujen terveysongelmien keskellä on yllättäen putkahtanut esille yksi sairaus, joka kiistatta liittyy nimenomaan säteilyyn, nimittäin kilpirauhassyöpä. Selvimmin tämä on tullut esille lapsilla, joilla tauti on muuten harvinainen. Lisäys tuli ensimmäisenä esille Valko-Venäjällä vuonna 1990. Pian sama asia havaittiin myös Pohjois-Ukrainassa, ja viime aikoina lisäys on ollut havaittavissa myös Venäjällä.

Yleensä noin yksi lapsi miljoonasta sairastuu kilpirauhassyöpään joka vuosi. Nyt ilmaantuvuus lapsilla on noussut pahimmin saastuneilla alueilla Valko-Venäjällä sataan ja Ukrainan pohjoisosissa sekä Länsi-Venäjän saastuneilla alueilla kymmeneen. Kaiken kaikkiaan tapauksia on jo yli 600. Näistä lapsista ainakin yksi on kuollut. Ilman länsimaista saatua hoidollista apua kuolonuhrien määrä olisi huomattavasti suurempi. Aniharva potilaista on syntynyt onnettomuuden jälkeen.

Lisäystä kilpirauhassyövän määrässä on havaittu myös niillä nuorilla aikuisilla, jotka olivat alle 18-vuotiaita altistuneita.

Miksi juuri kilpirauhassyöpä eikä esimerkiksi leukemia? Selitys on, että päästöissä oli huomattavan paljon radioaktiivista jodia, joka kehoon päästyään hakeutuu tehokkaasti kilpirauhaseen. Altistus tapahtui hengityksen kautta sekä ennen kaikkea saastuneiden elintarvikkeiden kautta. Näin kilpirauhasten säteilyannokset nousivat moninkertaiseksi verrattuna mihin tahansa muuhun elimeen erityisesti lapsilla, jotka juovat

paljon maitoa. Pienten lasten kilpirauhasannokset nousivatkin moninkertaiseksi verrattuna aikuisten annoksiin. Evakuoiduista lapsista 1 prosentin arvioitiin saaneen yli 10 Gy:n kilpirauhasannoksen. Kuitenkin syöpään sairastuneista lapsista kahdella kolmasosalla arvioitu annos oli alle 0,3 Gy.

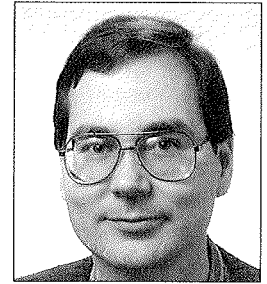
Säteilyn tiedetään aiheuttavan leukemioita. Viive on lyhyempi kuin muiden kasvainten osalta eli vähintään kaksi vuotta. Huippusairastuvuus on 6–10 vuotta altistuksesta. Näinollen Tshernobylin altistuksesta aiheutunut leukemiamäärän lisäys olisi voinut jo tulla näkyviin. Tätä ei ole kuitenkaan pystytty osoittamaan. Todennäköisesti saastuneilla alueilla esiintyneistä leukemiataapauksista jotkut ovat laskeuman aiheuttamia, mutta määrä on niin pieni, että se ei ole tullut esille kokonaismäärän nousuna. Tämä tieto ei ole ristiriidassa väestön arvioidun kokonaisannoksen kanssa.

Aikuisten ihmisten kiinteiden kasvainten osalta viive altistumisen ja syövän ilmaantumisen välillä on aikaisemman kokemuksen perusteella vähintään kymmenen vuotta. Näinollen lisäystä ei ole ollut vielä odotettavissa. Siitä huolimatta joitakin raportteja on esitetty, joissa sanotaan jonkun syöpälajin lisääntyneen. Kun on kyseessä pieni lisäys maassa, jossa syöpätapausten rekisteröinti ei ole kattava, tällaiset raportit on jätettävä omaan arvoonsa. Lasten kilpirauhasyövän osalta asia on toisin. Kun lisäys on monikymmenkertainen, sen todellisuutta ei ole syytä epäillä.

Säteilyyn suorasti liittyvien terveysvaikutusten määrä altistuneessa väestössä on pieni verrattuna laajoihin psykosomaattisiin ja psykososiaalisiin vaikutuksiin. Näiden todellinen määrä ja merkitys on kuitenkin hyvin vaikeasti määritettävissä.

Lääk. lis. **Wendla Paile** on Säteilyturvakeskuksen erikoistutkija p. (90) 7598 8480.

# SUOMALAISTEN SÄTEILYANNOS HEILAHTEE



*Suomalaisten arvioitu vuosittainen säteilyannos on viime vuosina pienentynyt, koska käsitys eri säteilylajien suhteellisesta haitallisuudesta on muuttunut. Uusimmat Hiroshimaa koskevat tutkimustulokset antavat aiheen ennakoida muutoksia myös tulevaisuudessa. Säteilyannoksiin liittyvien epävarmuuksien vuoksi myös yhtenäisistä säteilyannosrajoista on kiistaa.*

**V**iime vuosina on nähty varsin hämmäntäviä tietoja säteilyasioista. Kun parikymmentä vuotta sitten suomalaisten keskimääräinen säteilyannos vuodessa oli 3 mSv (lue millisieverttiä), niin vähän ennen Tshernobylin onnettomuutta se oli 6 mSv, ja nyt se on 4 mSv. Miten tämä on mahdollista? Vaikka Tshernobylin onnettomuudesta aiheutui vain mitätön lisä suomalaisten säteilyrasitukseen, niin pitäisihän sen kuitenkin suurentaa säteilyannoksia eikä pienentää, eikö totta? Miten on mahdollista, että säteilyannokset ovat muuttuneet ilman, että ympäristössä tai elintavoissa olisi tapahtunut muutoksia.

Hyppiviin säteilyannoslukuihin on syynä se, että säteilyannos, joka kuvataan millisievertteinä (mSv), ei ole fyysikaalinen mitta kuten kilogramma tai metri, vaan se on säteilyn kudokselle aiheuttaman säteilyaltistuksen mitta. Millisievert liittyy säteilyn aiheuttamiin terveydellisiin myöhäisvaikutuksiin, ja se riippuu kudokseen jääneen säteilyenergian

lisäksi säteilytyypistä ja elimestä, johon säteily kohdistuu. Jos tietämys eri elinten ja eri säteilylajien välisistä vaarallisuksista muuttuu, vaikuttaa se myös millisievertin mittatikkun.

Kehityksen viimeinen sana — ja uudet lukuarvot — on ilmaistu Kansainvälisen säteilysuojelukomitean ICRP:n vuoden 1990 ICRP60-suosituksessa. ICRP60:n uudet ja vuodelta 1977 olevat ICRP26:n aiemmat suositukset on esitetty oheisessa taulukossa.

Miltä sitten näyttää säteilyannosarvioiden tulevaisuus? Onko nyt saavutettu sellainen kiistämätön tiedon taso, joka kestää ajan tuulet ja tuiskut kuin metrijärjestelmä? Ei! Tällä hetkellä säteilyannosarvioihin liittyvä tietämys osoittaa keskenään ristiriitaisia tuloksia. Ristiriidat eivät ole pelkästään eri koulukuntien välisiä kiistoja eri teorioiden soveltuvuudesta ja paremmuudesta, vaan asiassa on jouduttu paikoin palaamaan takaisin aivan lähtöruutuun.

## Hiroshiman teoreettiset säteilyannosarviot pielessä

Eräs mielenkiintoisimmista muuttuvan tiedon tapauksista on Hiroshiman pommin säteilyannosten arviointia koskevat tutkimukset. Arviointityö on vaikea, sillä tuolloin käytetty uraani 235-pommi oli ainutkertainen. Sen aiheuttamaa säteilyä ei ole annosmittarein mitattu ennen pommitusta eikä samantyyppisiä pommeja ole käytetty myöhemminkään. Kun Hiroshiman kaupungissa ei luonnollisestikaan ollut säteilyannosmittareita, säteilyannos on jouduttu arvioimaan teoreettisesti. Teoreettiset arviot on nimetty käyttöönottovuoden mukaan, ja uusin ja sitä edellinen arvio ovat vuoden 1986 malli DS86 ja vuoden 1965 malli T65D.

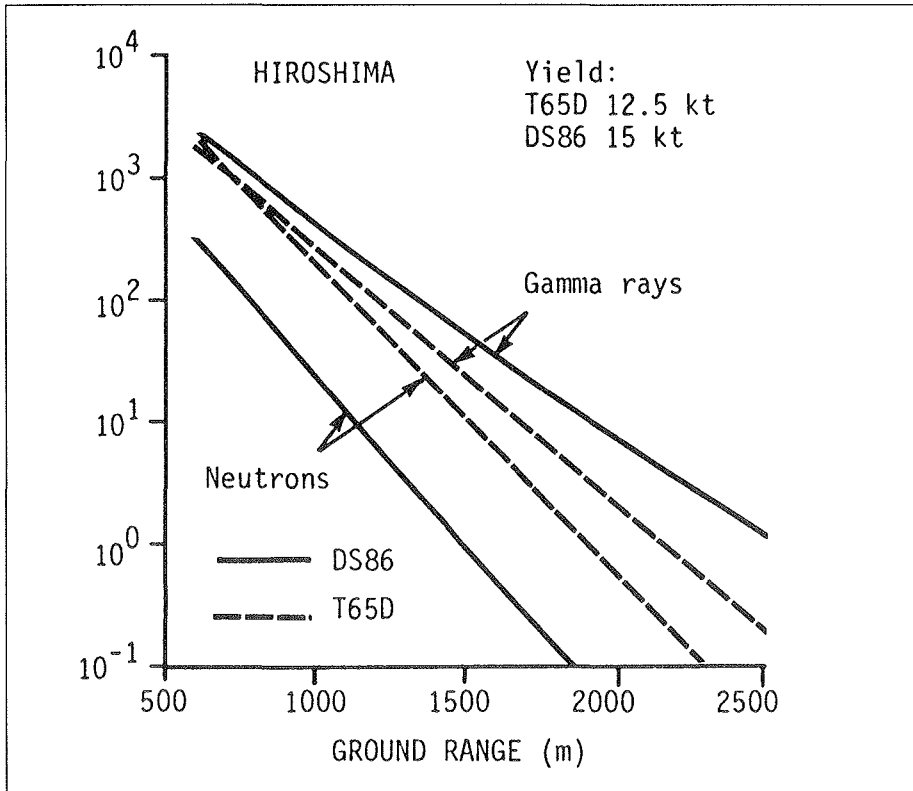
Yhdistyneiden Kansakuntien tiedemiesjärjestö UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) on vuoden 1988 raportissa esittänyt DS86:n ja T65D:n arviot neutroni- ja gammasäteilyn aiheuttamista annoksista Hiroshimassa. Kuvan annosyksikkö on todennäköisesti gray, joka gammasäteilyn tapauksessa on lukuarvoltaan sama kuin sievert.

Kuvasta nähdään, että mallien DS86 ja T65D arvioimat neutronisäteilyt ovat hyvin erilaisia. Edelleen nähdään, että lähellä räjähdyskohtaa pommin vaikutukset olivat hyvin tuhoisat. 50 prosentin todennäköisyydellä välittömään (kahden kuukauden aikana) kuolemaan johtanut säteilyannos aiheutui noin 800 metrin etäisyydellä. Edelleen nähdään, että säteilyn myöhäisvaikutusten tutkimuksille soveltuvin alue on 1–2 kilometrin etäisyydellä.

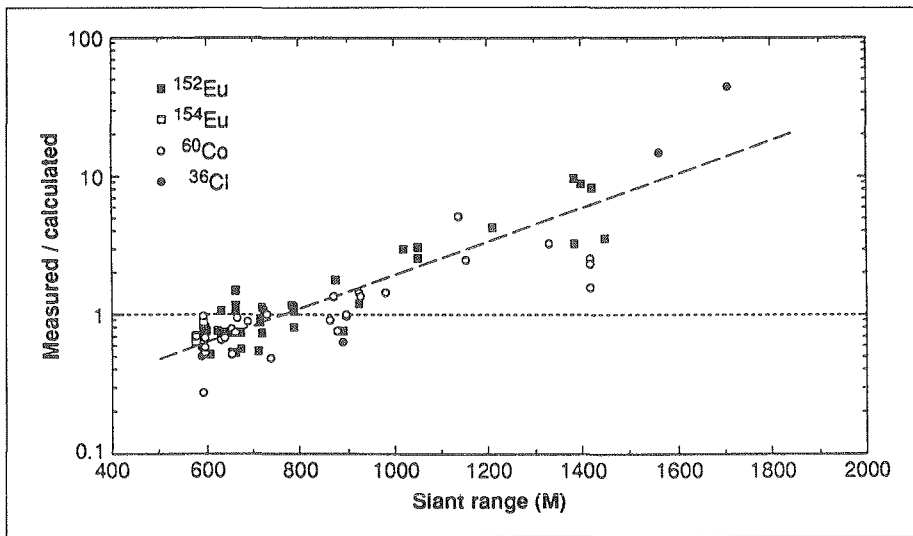
DS86:n (ja myös T65D:n) teoreettiset arviot on varmennettu pommituskohdan läheltä otettujen näytteiden avulla, mutta vasta 1980-luvun lopulla on tehty

## ICRP60:n ja ICRP26:n suosittamat säteilyannosrajat

	Efektiivinen annos	
Suositus	Ammatillinen altistus	Väestöaltistus
ICRP60	20 mSv/vuosi viiden vuoden keskiarvona; Yhden vuoden aikana maksimi 50 mSv	1 mSv/vuosi Yhden vuoden aikana maksimi 5 mSv edellyttäen, että enintään 1 mSv/vuosi viiden vuoden keskiarvona
ICRP26	50 mSv/vuosi	5 mSv/vuosi



Vuoden 1965 säteilyannosarvion (T65D) ja vuoden 1986 uudistetun arvion (DS86) vertailu Hiroshimassa eri etäisyyksillä maanpinnalle projisoidusta räjähdyskohdasta lukien. (UNSCEAR 1988)



Laskettujen ja mitattujen neutroniaktiivointien suhde Hiroshimassa eri etäisyyksillä maanpinnalle projisoidusta räjähdyskohdasta lukien. (Health Physics 1992).

laajoja vertailumittauksia kauempaa kerätyistä näytteistä. Yllättäen on osoittautunut, että DS86 arvioi neutronisäteilyn suhteellisen oikein vain 0–1 kilometrin etäisyyksillä, mutta kauempana väärin. DS86:n teoreettinen säteily-

annosarvio on vahvasti harhassa 1–2 kilometrin etäisyydellä, eli juuri sillä tärkeällä alueella, joka on soveltuvin säteilyn myöhäisvaikutusten tutkimuksille.

Myöhäisvaikutukset ovat puolestaan kytköksissä alussa mainittuihin millisievertteihin. Tätä kautta DS86:een liittyvät virheet vääristävät millisievertin mittatikkua. Virheen vaikutus on merkittävä, koska ICRP60:n suositukset pohjautuvat voimakkaasti Hiroshiman (ja Nagasakin) tuloksiin.

### Neutroniaktiivoinneissa dekadin virhe

Health Physicsissä on vuonna 1992 kuvattu DS86-mallin neutronisäteilyn aiheuttaman neutroniaktiivoinnin ja kaupungista otettujen näytteiden välistä suhdetta. Arvioidun aktiivoinnin suhteellinen virhe kasvaa sitä suuremmaksi mitä kauemmaksi räjähdyspisteestä edetään. Esimerkiksi 1,5 kilometrin etäisyydellä on DS86 ennustanut kertomella kymmenen liian pieniä neutroniaktiivointeja. Koska arviolta noin 90 prosenttia neutronien aiheuttamasta säteilyannoksesta aiheutui niistä neutroneista, jotka osallistuivat neutroniaktiivointiin, on myös säteilyannosarvio vahvasti virheellinen. Koska säteilyannosvirhe riippuu etäisyydestä, on säteilyn terveyshaitasta tehty virhekin etäisyydestä riippuva.

Miksi asiaa ei sitten selvitetä kunnolla? Miksi ei yksinkertaisesti lasketa oikein? Vaikka Hiroshiman pommin säteilyannoksen laskijat ovat selvästikin epäonnistuneet tehtävässään, niin kaupallisille konsulteillekaan ei tätä tehtävää voitane siirtää. Tuskinpa edes ATS:n jäsenten tunnetut taidot riittäisivät parempaan. Onhan Hiroshiman säteilyannosten DS86-laskut on tehnyt alan osaavimmaksi tunnettu ryhmä.

### Säteilyrajoista odotettavissa kiistoja

Miksi säteilyn terveyshaitat ovat sitten kiinnostavia? Eihän meidän jokapäiväinen ympäristömme juurikaan sisällä suuria säteilyuhkia. Liikenteen, tupakoinnin, viinan ja arkisten tapaturmien rinnalla säteily on vähäinen ongelma talousveden uraanisarjaa ja huoneilman radonia kenties lukuunottamatta. Kuuluisa Tshernobylin onnettomuuskin oli Suomessa lähinnä mediatapahtuma.

Millisievertin mittatikon tekee kiinnostavaksi annosmitan hyppivyyden aiheuttaman yleisen hämmennyksen lisäksi lainsäädännön lonkeroiden kasvu.

Viimeistään Euroopan Unionin tulevien direktiivien sisältämistä yhtenäisistä säteilyrajoista on odotettavissa kiista. Etenkin ranskalaiset ovat arvostelleet ICRP60:n vuonna 1990 ehdottamia uusia annosrajoja. Nämä uudet rajat ovat jo voimassa esimerkiksi Suomessa. Uusien rajojen noudattamista ei sinänsä pidetä ongelmana, ja ALARA-periaatteen vuoksi säteilyannokset on käytännössä tähänkin mennessä pidetty pienempinä kuin mitä annosrajat suoraan vaatisivat.

Mutta ranskalaisten mielestä ICRP60:n rajoilla ei ole riittäviä perusteita. Miksi kaikkien pitäisi ottaa käyttöön rajat, joiden oikeellisuutta hyvin perustellusti epäillään? Miksi toistaa samoja virheitä muiden kanssa vain EU:n yhteisymmärryksen nimissä?

Kysymykset ovat mielenkiintoisia ja ajankohtaisia. Historia lienee opettanut, että samaan muottiin, ja varsinkin samaan virheelliseen muottiin, puristaminen on harvoin lisännyt ihmisten tai kansakuntien onnellisuutta.

TkL Lauri Rantalainen on IVO:n ympäristönsuojeluyksikön tuote-päällikkö, p. (90) 8561 4557.

Jukka Kangas

## MODE LISÄÄ OLKILUODON TURVALLISUUTTA

*Olkiluodon ydinvoimalaitoksella on menossa mittava modernisointihanke MODE, jonka tavoitteena on lisätä laitoksen turvallisuutta ja tuotantokykyä. Samalla varaudutaan myös uusiin turvallisuusvaatimuksiin. Uusituille laitosyksiköille on tarkoitus saada käyttöluvut vuonna 1988. Hankkeen kokonaiskustannukset ovat 800 miljoonaa markkaa.*

**T**VO I ja II -laitosyksiköt on rakennettu 1970-luvulla, ja ne ovat perusrakenteeltaan 1970-luvun alun tekniikkaa. Laitosyksiköitä on käytetty kumpaakin menestyksellisesti yli 15 vuotta. TVO I tahdistettiin valtakunnan verkkoon ensimmäisen kerran vuonna 1978 ja TVO II 1980.

Laitoksia on jatkuvasti kehitetty käyttökäytönsä alusta pitäen, ja erityistä huomiota on kiinnitetty laitosten turvallisuuteen, elinikään, tuotantokykyyn ja käyttövarmuuteen. Laitosyksiköiden kehittämistä jatketaan ja tehostetaan keräämällä lähivuosille suunnitellut toimenpiteet yhdeksi modernisointihankeeksi. Hanke aikataulutetaan siten, että sen vaikutukset voidaan ottaa huomioon uusittaessa laitosyksiköiden käyttöluvut vuonna 1988.

Hankkeen lähtökohtana on käyttää mahdollisimman paljon omaa henkilökuntaa, välttää tuotantomenetyksiä toteutettaessa laitosmuutoksia ja soveltaa kustannus/hyöty ajattelua arvioitaessa tuotantokykyyn liittyvien toimenpiteiden tarpeellisuutta.

### Lisää tuotantokykyä ja uusia haastavia tehtäviä

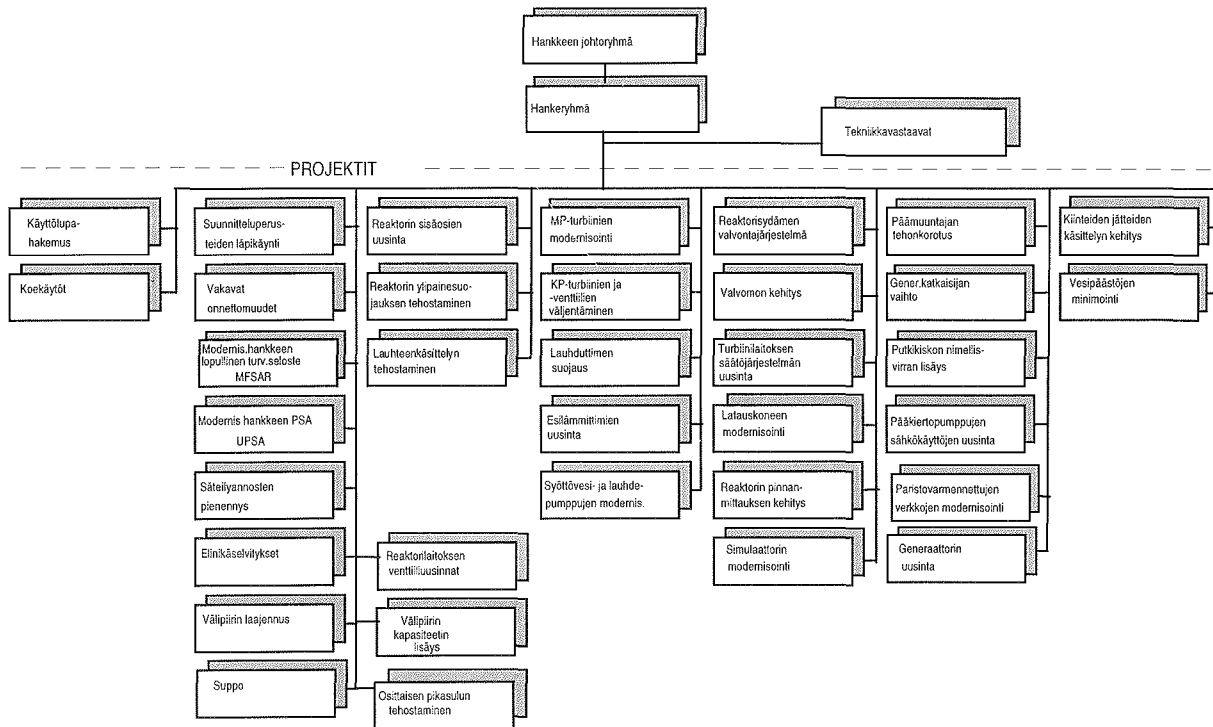
Modernisointihankkeen päälinjittäviä tavoitteita on laitosyksiköiden turvallisuusominaisuuksien tarkistaminen ja tarvittaessa parantaminen. Tähän pyritään selvittämällä voimassaolevien ja ennakoitavissa olevien turvallisuusvaatimusten täyttyminen. Lisäksi pyritään

pienentämään sekä ympäristövaikutuksia että henkilökunnan säteilyannoksia.

Niinikään keskeisenä tavoitteena on laitosyksiköiden tuotantokyvyn parantaminen. Tähän tavoitteeseen pyritään vähentämällä tuotantohäiriöitä, parantamalla hyötysuhdetta ja korottamalla reaktoritehoa kuitenkin hyväksyttävät marginaalit säilyttäen. Tavoitteena on myös oman henkilökunnan asiantunteumuksen ja tuottavuuden lisääminen tarjoamalla henkilökunnalle mielekkäitä ja haastavia työtehtäviä.

Modernisointihanke toteutetaan kaikkiaan yli kolmessakymmenessä osaprojektissa, joiden toimintaa koordinoi erillinen hankeryhmä sekä johtoryhmä. Oheisessa kaaviossa on esitetty hankkeen jako eri osaprojekteihin.

Eri osaprojektit on jaettu sekä selvitysettä toteutusprojekteihin. Selvityso projektit ajoittuvat pääosin vuosille 1994–1996. Niissä on pyritty hakemaan lähtökohdat ja suunnitteluperusteet toteutusprojekteille. Toteutukset laitosyksiköillä ajoittuvat siten, että modernisointihankkeeseen liittyvät laitosparannukset ajoittuvat TVO I:llä pääosin vuosille 1996 ja 1997 sekä vastaavasti TVO II:lla vuosille 1997 ja 1998. Modernisoinnin kustannusarvio nykyisessä laajuudessa on 800 miljoonaa markkaa.

**Modernisointihankkeen organisaatio**

**Kartoitetaan nykyinen vaatimustaso**

Suunnitteluperusteiden läpikäynnissä on kartoitettu ajanmukainen ydinvoimalaitosten turvallisuustekninen vaatimustaso ja verrattu tämänhetkisiä TVO I:n ja TVO II:n rakenteellisia ratkaisuja tähän tasoon. Poikkeamien merkitys turvallisuudelle on arvioitu tapauskohtaisesti ja päätetty laitosyksiköillä tarvittavien muutosten toteutus ja laajuus. Projektin tulokset ovat lähtökohtana laitosyksiköille suoritettaville parannustoimenpiteille.

Vakavien onnettomuuksien osalta TVO:lla on jo vuosina 1989–1990 toteutettu merkittäviä laitosparannuksia. Nyt meneillään olevan projektin tavoitteena on seurata vakavien onnettomuuksien tutkimusta, koota nykyinen tietämys ja tarkastella vakavien onnettomuuksien hallintatoimenpiteitä tutkimustulosten perusteella. Projekti on kiinteästi sidoksissa TVO:ssa toteutettavaan tason 2 PSA-analysiin, joka on suojarakennuksen todennäköisyyspohjainen turvallisuusarvio. Mahdollisten puutteiden merkitys turvallisuudelle

arvioidaan, samoin kuin tarve ja mahdollisuudet esimerkiksi ohjeistuksin tai laitosmuutoksilla lisätä laitosyksiköiden kykyä kestää vakavia reaktorionnettomuuksia.

Alkuperäiset suunnittelumarginaalit, tähänastiset käyttökokemukset ja kiehuuslaitostekniikka ovat luoneet edellytyksiä tehonkorotukselle. Tehonkorotusmahdollisuuksien selvittäminen on osa modernisointihanketta. Toisaalta hankkeessa toteutetaan muutoksia, jotka edesauttavat tehon korottamista.

Lähtökohtana tehonkorotukselle on turvallisuustason säilyminen vähintäänkin yhtä hyvänä kuin nykyisin. Projektissa on laadittu yhteistyössä alkuperäisen laitostoimitajan (ABB Atomin) kanssa reaktoriteholle 2500 MW<sub>th</sub> (nykyinen teho 2160 MW<sub>th</sub>) alustava turvallisuusseloste (USAR). Raportti toimitettiin viranomaisille (STUK) vuoden 1995 alkupuoliskolla, ja alustavien kommenttien jälkeen selvitykset jatkuvat tekemällä lopullista modernisoinnin turvallisuusselostetta (MFSAR). Tässä turvallisuusselosteessa uusitaan lähes kaikki transientti- ja onnettomuus-

analyysit. Lisäksi uusitaan tarvittavin osin myös lujuuslaskut. Samassa yhteydessä uusitaan myös turvallisuusselosteen teksti. MFSAR toimitetaan STUK:n tarkastettavaksi vuoden 1996 loppuun mennessä. Niinikään lähtökohtana on suorittaa tehonkorotukselle YVA-lain mukainen ympäristön arviointimenettely.

Modernisoinnin laitosmuutosten vaikutusta laitoksen kokonaisturvallisuuteen analysoidaan luotettavuusteknisin keinoin. Vastaavasti arvioidaan kvantitatiivisesti ja mahdollisimman realistisiin lähtötietoihin perustuen vakaviin reaktorionnettomuuksiin varautumisen riittävyttä ja ehdotettujen parannustoimenpiteiden tarkoituksenmukaisuutta.

Edellisten lisäksi selvitetään mahdollisuuksia pienentää nykyisiä vuotuisia säteilyannoksia, arvioidaan eri laitteiden elinikää sekä tutkitaan meriveden sisäänottorakenteissa talvella esiintyvän alijäähtymisen ("suppo"-ilmiöt) aiheuttamia ongelmia ehkäiseviä rakenteita.



## Reaktorin ja turbiinien lisäksi uusitaan useita järjestelmiä

Reaktorin sisäosien uusintaa jatketaan. Jo aiemmin on molemmilla laitosyksiköillä vaihdettu ns. sydänritilät. Vuonna 1997 asennetaan molemmille laitosyksiköille uudet hidastintankin kannet ja höyrynerottimet. Tällä muutoksella taataan alhainen tuorehöyryn kosteus korotetullakin tehotasolla. Lisäksi materiaalivalinta on suoritettu siten, että riski säteilyn aiheuttamalle jännityskorroosiolle pienenee entisestään.

Reaktorin ylipainesuojauksen parantamiseksi asennetaan molemmille laitosyksiköille kaksi uutta varoventtiiliä. Venttiilit eroavat aiemmista venttiileistä, jolloin yhteisvian merkitys ylipainesuojauksessa pienenee merkittävästi.

Jälkilämmönpoistokapasiteettia kasvatetaan vastaamaan korotettua tehotasoa. Samoin lauhteenpuhdistuksen kapasiteettia ja laatua parannetaan.

Matalapaineturbiinien sisäpesät ja roottorit siivistöineen uusitaan. Tällä toimenpiteellä laitoksen hyötysuhde paranee ja molempien laitosyksiköiden sähköteho nousee noin 20 MW. Korkeapaineturbiinit avarretaan tehotason mukaan.

Lauhduttimien eroosionkestävyyttä parannetaan vaihtamalla uloimpiin putkiriveihin paremmin eroosiota kestävä materiaali (SMO). Matalapaine-esilämmittimien uusintoja jatketaan. Syöttövesipumppujen kavitaation ehkäisemiseksi nostetaan syöttövesipumppujen imupainetta asentamalla lauhdepumppuihin yksi paineennostovaihe lisää.

Käyttövarmuutta parannetaan uusimalla turbiinin säätö- ja suojausautomaatio kolmikanavaiseksi. Tämän lisäksi uusitaan reaktorisydämen valvontajärjestelmä, keskusvalvomoa ajanmukaistetaan ja latauskoneen automaatio uusitaan. Simulaattorilla tehdään laitosmuutoksia vastaavat muutokset ja uusitaan tietokonejärjestelmä.

Sähköpuolen merkittäviä muutoksia ovat päämuuntajien, generaattorikatkaisijan ja generaattorien uusinta. Niinkään pääkiertopumppujen sähkösyötöt uusitaan siten, että pääkiertopumppujen alarajo voidaan säätää turvallisuusvaatimusten kannalta entistä optimaalisemmaksi.

Kiinteiden jätteiden käsittelyä tehostetaan entistä tehokkaammalla puristus- ja katkaisulaitteistolla. Niinkään laitoksille asennetaan nestemäisten jätteiden käsittelyjärjestelmiin uudet separaattorit ja dekanterit. Näiden lisäksi rakennetaan reaktorialtaan vedelle varastosäiliö. Näillä toimenpiteillä voidaan nestemäisten jätteiden päästöjä pienentää entisestään.

DI Jukka Kangas on Teollisuuden Voima Oy:n voimalaitostekniikan yksikön päällikkö, p. (938) 381 4100.

***Imatran Voima Oy parantaa lähivuosina Loviisan laitoksen hyötysuhdetta ja modernisoi turpiineja sekä muita laitteistoja. Samassa yhteydessä aiotaan nostaa reaktorien nimellisteho. Laitoksen sähköteho nousee noin 10 prosenttia eli lähes 100 megawattia. Kaikkiaan noin 200 miljoonaa markkaa maksava hanke toteutetaan useassa vaiheessa vuosina 1995–2000.***

Loviisan ydinvoimalaitoksella on menossa useita hankkeita, jotka tähtäävät laitoksen turvallisuuden varmistamiseen, käyttöiän jatkamiseen sekä kannattavuuden säilyttämiseen pitkällä tähtäimellä. Merkittävin yksittäinen hanke lähivuosina on laitteistojen modernisointi- ja tehonkorotusprojekti, joka on jatkoa vuosina 1994–1995 tehdyille esiselvityksille.

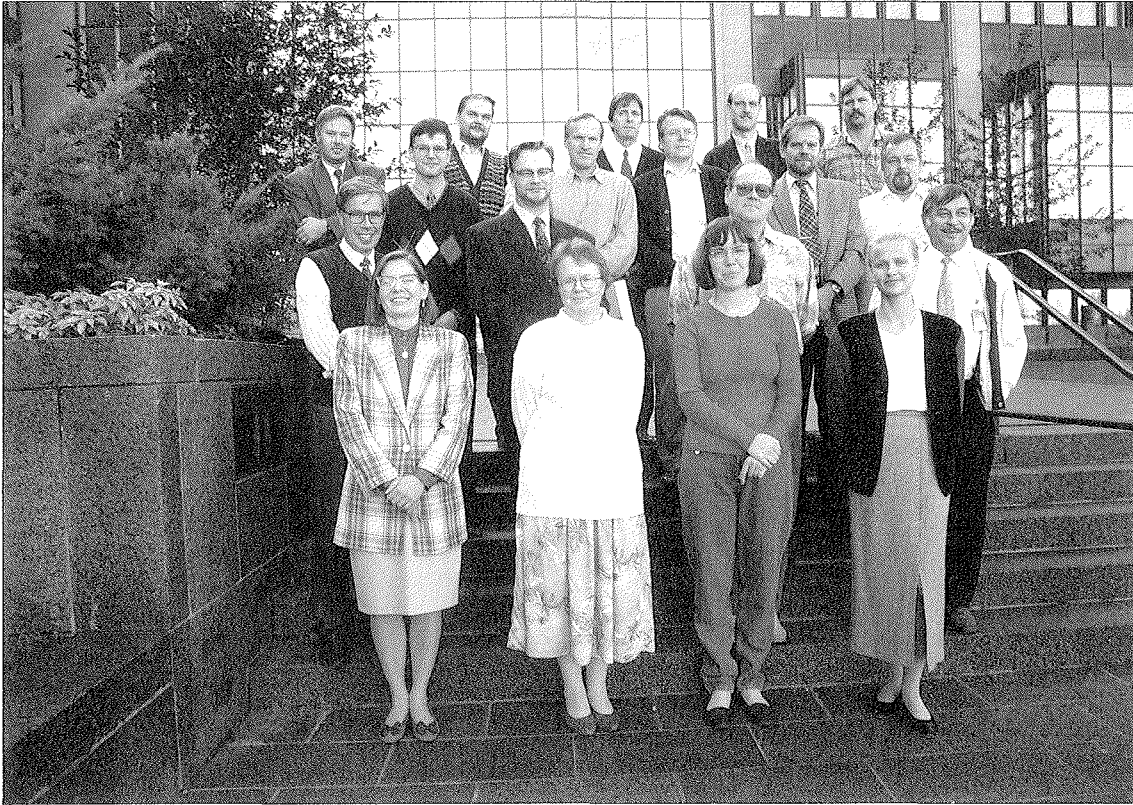
## Tekniikka ja analyysimenetelmät ovat kehittyneet

Tekniikan kehittyminen yhdessä parempien analyysimenetelmien kanssa antaa mahdollisuuksia aiempaa paremmin arvioida laitoksen turvallisuuden kannalta tärkeitä toimintoja. Lisäksi turpiinilaitoksen prosesseja voidaan optimoida aiempaa tarkemmin ja näin vähentää häviöitä.

Hankkeen aikana uusitaan tärkeimmät turvallisuusanalyysit nykyaikaisilla laskentamenetelmillä sekä tehdään jälleen kerran laitoksen turvallisuuden kokonaistarkastelu. Samassa yhteydessä tehdään laitokselle laajamittainen todennäköisyyspohjainen turvallisuusanalyysi ympäristövaikutuksille (tason 2 PSA).

Laitoksen hyötysuhdetta parannetaan muun muassa uudistamalla höyryturpiinit sekä minimoimalla prosessijärjestelmien virtaushäviöitä. Sähkötehonsiirto- ketjun kapasiteettia lisätään tehostamalla generaattoreiden jäähdytystä sekä vahvistamalla päämuuntajien johdotuksia.

# MYÖS LOVIISAAN LISÄÄ TEHOA



*Loviisan modernisointi ja tehonkorotusprojektin aloituskokouksessa 22.9.1995 läsnäolleet projekti-ryhmän jäsenet.*

Modernisoinnin yhteydessä on tarkoitus nostaa reaktorien lämpöteho 1500 MW:iin nykyisestä 1375 MW:sta. Korotus toteutetaan polttoainesydämen tehojakaumaa tasoittamalla ja optimoimalla lataus uudelleen. Polttoainesta vaihdetaan nykyistä suurempi osa jo kahden käyttövuoden jälkeen kolmen sijasta. Maksimi-arvoja polttoaineen palaman ja lineaaritehon suhteen ei tarvitse ylittää nykyisestä. Koska muutokset perustuvat "proven design"-periaatteeseen, voidaan analyyseissä ja selvityksissä hyödyntää merkittävässä määrin vuodesta 1977 lähtien kertyneitä käyttökokemuksia.

Yhteistyössä modernisointi- ja tehonkorotusprojektin kanssa toteutetaan lukuisia muita projekteja, jotka varmistavat laitoksen turvallisuutta, käyttövarmuutta ja pitkää käyttöikä. Loviisa 1:n reaktori-

ripiaineestialle tehdään kesällä 1996 lämpökäsittely, jolla palautetaan neutronisäteilyn haurastuttaman paineestiatte-räksen sitkeysominaisuudet alkuperäiselle tasolle. Muita merkittäviä hankkeita ovat muun muassa toimet, joilla varaudutaan vakaviin reaktorionnettomuuksiin ja primääri-sekundääri vuotoihin sekä paineistimen varo- ja puhallusjärjestelmän uusinta.

## **Ympäristövaikutukset arvioidaan YVA-menettelyssä**

Tehonkorotuksen rakenteelliset muutokset sekä koekäytöt korotetulla teholla on tarkoitus tehdä vuosina 1996–1998. Turpiinien osalta muutokset jatkuvat vuoteen 2000 asti. Laitoksen käyttöön tai ympäristöön muutoksilla ei ole käytännössä merkitystä. Merkittävin

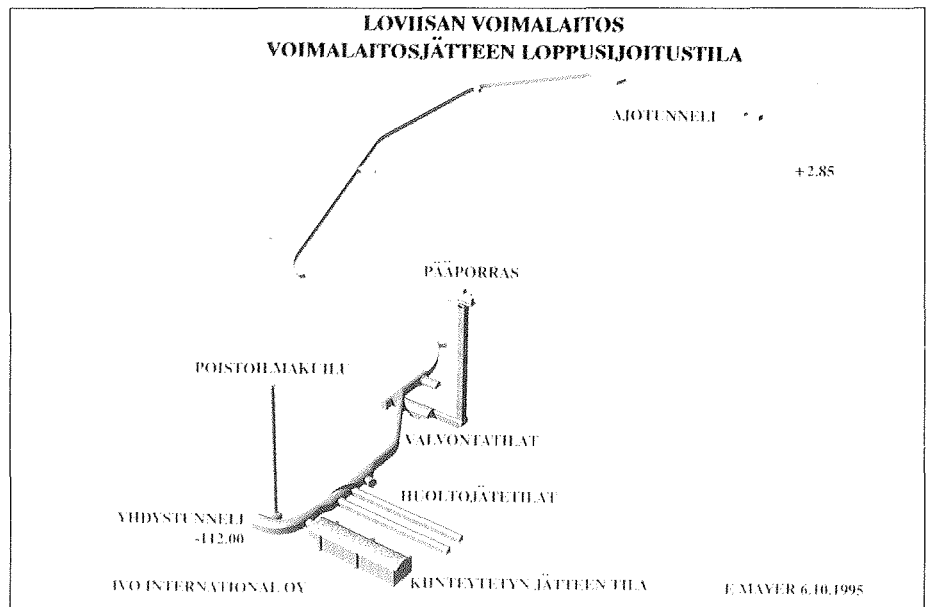
ympäristömuutos on jäähdytysveden lämpeneminen nykyisestä noin yhdellä asteella.

Hankkeen yhteydessä laitokselle tehdään ensimmäistä kertaa uuden ympäristövaikutusten arvioinnista annetun lain tarkoittama YVA-menettely. Tehonkorotuksen lisäksi YVA-selvitys sisältää Loviisan voimalaitoksen käytetyn ydinpolttoaineen varaston laajentamisen sekä keski- ja matala-aktiivisen jätteen loppusijoitustilan vaikutukset ympäristöön.

DI Aarno Keskinen on IVO International Oy:n projektipäällikkö, p. (90) 8561 2535

# LOVIISAN LAITOSJÄTTEIDEN LUOLA VALMISTUMASSA

*Loviisan voimalaitoksella syntyvä matala- ja keskiaktiivinen voimalaitosjäte sijoitetaan vuoden 1996 lopussa valmistuvaan loppusijoitustilaan. Noin 110 metrin syvyyteen Hästholmenin kallioperään rakennettavan laitoksen kustannusarvio on 75 miljoonaa markkaa. Lopulliseen laajuuteen valmistuttuaan ensi vuosikymmenen alkupuoliskolla se kykenee vastaanottamaan kaiken laitosten käytössä syntyvän aktiivisen huoltojätteen ja kiinteytettävän jätteen.*

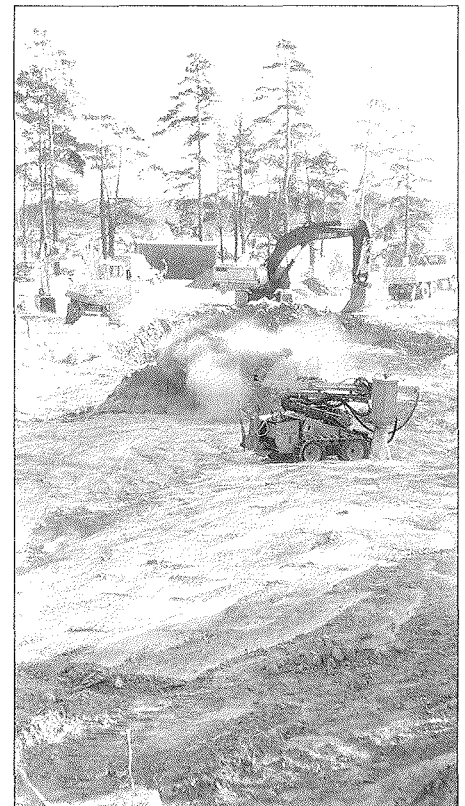


Voimalaitosjätteiden loppusijoitus kallioperään rakennettaviin tiloihin on harkittu Suomessa tarkoituksenmukaisimmaksi menetelmäksi jätteiden eristämiseksi ihmisten normaalista elinympäristöstä. Loviisan voimalaitoksella syntyvä matala- ja keskiaktiivinen voimalaitosjäte loppusijoitetaan Hästholmenin saaren kallioperään rakennettaviin tiloihin. Useita vuosia kestäneiden kallioperän soveltuvuustutkimusten perusteella IVO päätyi esittämään loppusijoitustilan toteuttamista nykyisen laitoksen sijaintipaikan kallioperään kahden ylimmän rikkonaisen vyöhykkeen väliin noin 100–140 metrin syvyyteen.

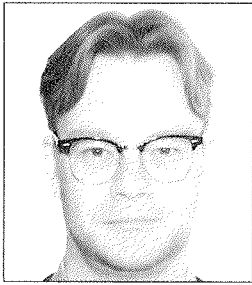
Vuonna 1986 valmistui Loviisan voimalaitosjätteen loppusijoitustilan alustava turvallisuusseloste (PSAR), jonka Säteilyturvakeskus (STUK) hyväksyi vuonna 1988 ja myönsi samalla voimalaitoksen käyttöluohtojen mukaisen luvan loppusijoitustilojen rakentamiselle. Varsinaisen rakentamisen valmistelut aloitettiin vuonna 1992 ja tammikuussa 1993 Loviisan kaupunki myönsi tiloille

rakennusluvan. Työt Hästholmenin saarella aloitettiin helmikuussa 1993. Projektin hoito on hallinnoitu siten, että Imatran Voima Oy (IVO) toimii rakennuttajana, laitoksen omistajana ja käyttöluvan haltijana, IVO International Oy (IVO IN) toimii arkkitehti-insinöörinä ja projektinjohtourakoitsijana. STUK on hankkeen kaikissa vaiheissa työtä valvova viranomainen.

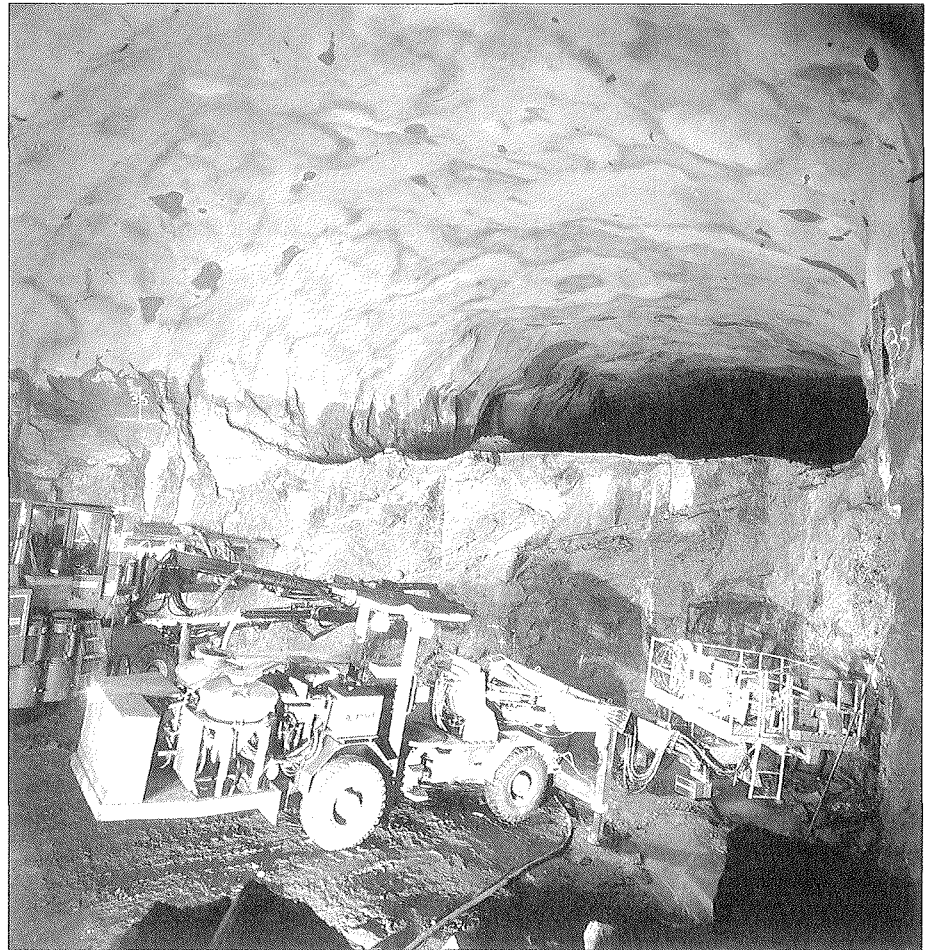
Loppusijoitustilat muodostuvat noin 1 150 metriä pitkästä ajotunnelista ja noin 110 metrin syvyyteen rakennettavista tunneli- ja hallitiloista. Tilat rakennetaan kahdessa vaiheessa. Ensimmäinen vaihe käsittää ajotunnelin, valvontatilan, yhdystunnelin, kahden huoltojätetilan, kiinteytettävien jätteiden tilan sekä pääporras- ja ilmanvaihtokuilujen louhinnat. Louhittavat tilat varustellaan lopulliseen kuntoon lukuunottamatta toisessa vaiheessa tehtäviä toisen huoltojätetilan ja kiinteytettävien jätteiden tilan varustelua. Molempia rakennusvaiheita palvelevat järjestelmät rakennetaan valmiiksi jo ensimmäisen vaiheen aikana.



*Loviisan luolaston ensimmäinen panos ammuttiin 26.2.1993.*



*Mitoiltaan juhlava (leveys 17 metriä, pituus 80 metriä ja korkeus 17 metriä) kiinteytetyn jätteen tila louhittiin kolmena kerroksena. Tässä on toisessa kerroksen panostus menossa. Holvi on jo lopullisessa asussa salaojitettuna ja ruiskubetonoituna. (kuva oikealla)*



*Loviisan voimalaitosjätteen loppusijoitustilat muodostuvat 1 150 metriä pitkstä ajotunnelista ja noin 110 metrin syvyyteen louhituista tunneli- ja hallitiloista. (kuva vasemmalla)*

## **Luolaston ensimmäinen vaihe valmistuu tänä vuonna**

Keväällä 1993 aloitettu louhintatyö saatiin päätökseen aikataulun mukaisesti joulukuussa 1995. Rakennus- ja asennustyöt aloitettiin marraskuussa 1995 ja asennustyöt valmistuvat aikataulun mukaan vuoden 1996 lopussa, jolloin myös loppusijoitustilan käyttöluvahakemus jätetään.

Toisen vaiheen toteutusajankohdan määrää Loviisan voimalaitoksen jätekeräytymä. Alustavissa arvioissa tämä tapahtuisi 2000–2005 välisenä aikana. Kolmas, vasta suunnitteilla oleva vaihe käsittää purkujätetilat. Näihin tiloihin on tarkoitus loppusijoittaa Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoiston yhteydessä syntyvä purkujäte. Tämän vaiheen alustava toteutusajankalau on 2020–2025.

Nyt valmistuviin tiloihin mahtuu 6 000 tynnyriä huoltojätettä. Toisen vaiheen tilojen valmistuttua kapasiteetti laajenee siten, että laitos pystyy ottamaan vastaan

toiset 6 000 tynnyriä aktiivisia huoltojätteitä sekä 5 000 kuutiometriä kiinteytettyjä jätteitä. Kolmannessa vaiheessa tehtävien purkujätetilojen kapasiteetti on noin 13 200 kuutiometriä.

## **Jätteitä syntyy laitosta käytettäessä ja huollettaessa**

Loviisan voimalaitoksella syntyy käytön, huollon ja korjaustöiden yhteydessä voimalaitosjätteitä. Huoltojätteitä ovat ilmastointi- ja prosessikaasujärjestelmien suodattimet, huolto- ja korjaustöissä syntyvät sekalaiset jätteet sekä putkistomuutosten yhteydessä syntyvät metallilomut. Nämä jätteet pakataan pääasiassa tavallisiin 200 litran terästynnyreihin, jotka pinotaan huoltojätetiloihin kahdeksan rinnan ja viisi päällekkäin hieman lomittain, jotta optimaalinen tilan käyttö tulisi varmistettua.

Prosessivesien puhdistuksesta ja materiaalien kemiallisen puhdistuksen yhteydessä syntyy märkiä jätteitä, joita ovat ioninvaihtohartsit, haihdutusjätteet,

lietteet ja sakat. Märät jätteet on tarkoitus kiinteyttää betoniin sylinterinmuotoisen, nettotilavuudeltaan kuutiometrin betoniastian sisään ja nämä puolestaan sijoitetaan betonikokilliin. Kokillit ladotaan lopuksi kiinteytettyjen jätteiden halliin rakennettavaan betonialtaaseen. Täyttö tapahtuu yksi allaskerros kerrallaan siten, että kunkin kerroksen jälkeen valetaan astioiden välit täyteen betoniam. Altaan täytyttyä se suljetaan teräsbetonikannella.

Käytöstäpoiston yhteydessä syntyy purkujätettä, joka koostuu laitoksen aktivoituneista ja kontaminoituneista teräs- ja betonirakenteista sekä putkistoista ja muista prosessijärjestelmien osista. Purkujätteen loppusijoitustilat rakennetaan myöhemmin.

## Loviisan jäteluolan kalliorakentaminen numeroin

Suorite	Määrä	Vertailua
Tiivistys, lujitus ja panostusporausta	140 km	Matka Hki-Hästholmen-Hki
Räjähdysainetta (aniitti)	71 000 kg	noin 177 000 aniittipötköä á 400 g
Lujituspultteja	10 km	
Tiivistyssementtiä	420 000 kg	noin 10 500 säkkiä á 40 kg
Valmista betonia	3 100 m <sup>3</sup>	
Salaojaputkea	8 km	

### Kalliorakentamisesta louhetta jopa venesatamiin

Ajotunneliosuudella pääurakoitsijana toimi Lemminkäinen Oy. Louhintatilaavuus oli noin 55 000 kiintokuutiometriä. Varsinaisten loppusijoitustilojen kalliorakentamisesta ja muutamista rakennusteknisiä perustustöistä on vastannut pääurakoitsijana YIT:n kalliorakennustoimisto.

Koska projektissa on oltu tekemisissä radioaktiivisten jätteiden kanssa, on myös YIT joutunut kehittämään omaa laatujärjestelmäänsä, jotta kaikki työnaikaiset yksityiskohtaiset dokumentit syntyvät ajallaan ja asianmukaisina. Laatujärjestelmän toimivuus on näkynyt mm. siten, että urakka on ollut kokonaisuudessaan hyvin hallinnassa. Kaikkiaan YIT:n urakassa kalliota luohittiin noin 55 000 kiintokuutiometriä.

Eräs projektin tehtävistä oli kaikkiaan noin 110 000 kiintokuutiometrin kalliolouhemäärän toimittaminen saarelta pois. Mutta kuinka asia hoidetaan, kun irtokuutioiksi muutettuna massa on noin 200 000 kuutiometriä? Tilavuus on noin kolme kertaa yhden Loviisan suojarakennuksen suuruinen.

Varsinaisista tunneli- ja hallitiloista saadulla louheella laajennettiin Hästholmenin saaren eteläpuolen täyttömaa-aluetta ja pääportin viereen rakennettiin perustetun pienvenesataman sekä eteläpuolen kalasataman suoja- ja aallonmurtajat. Pieni osa louheesta ajettiin Loviisan Smoltti Oy:n merivesiverkkoaltai-

den jääsuojaksi. Lopuksi noin 16 000 tonnia louhetta (vastaa noin 10 000 irtokuutiometriä) on murskattu eriasteisiksi murskeiksi ja läjitetty Hästholmenin saaren eteläpuolen täyttömaa-alueelle odottamaan kuljetusta takaisin loppusijoitustilan pohjien tasaukseen.

DI Jari Snellman on Loviisan voimalaitoksen turvallisuusinsinööri. Erillisprojektina hän vastaa Loviisan matala- ja keskiaktiivisten jätteiden loppusijoitustilan toteuttamisesta, p. (915) 550 3040.

**Eduskunnan muutti vuoden 1994 lopussa ydinenergialakia siten, että käytetyn polttoaineen palautukset Loviisan voimalaitokselta Venäjälle loppuvat kuluvan vuoden loppuun mennessä. Imatran Voima Oy aloittikin valmistelut käytetyn polttoaineen huollon toteuttamiseksi Suomessa. Ensimmäisiä tehtäviä oli selvittää, miten Loviisassa olevien käytetyn polttoaineen varastojen kapasiteettia voitaisiin lisätä kattamaan laitoksen koko jäljellä olevana käyttöaikana kertyvän polttoaineen varastointitarve.**

**K**äytetyn polttoaineen varastoinnin selvitystyö aloitettiin IVO International Oy:n Ydinvoimatekniikka liiketoiminnassa vuoden 1994 lopulla, ja se valmistui vuoden 1995 loppupuolella. Lähtökohtana oli selvittää mahdollisimman kattavasti tarjolla olevat vaihtoehdot varastokapasiteetin lisäämiseksi ja arvioida eri vaihtoehtojen soveltuvuutta teknisesti, taloudellisesti sekä luvituksen kannalta.

Selvitykseen otettiin mukaan yhdeksän eri vaihtoehtoa: nykyisen vesiallasvaraston laajennus, voimalaitosjätteiden loppusijoitustilan yhteyteen rakennettava vesiallasvarasto, avoimien polttoainetelineiden vaihtaminen tiheisiin telineisiin, siirtosäiliövarasto joko maan pinnalla tai vlvj-loppusijoitustilan yhteydessä, kaksi siilotyypistä kuivavarastoa (NUHOMS/Pacific Development Services ja MACSTOR/AECL) ja kaksi holvityypistä kuivavarastoa (MVDS/GEC Alsthom ja FUELSTOR/Siemens).

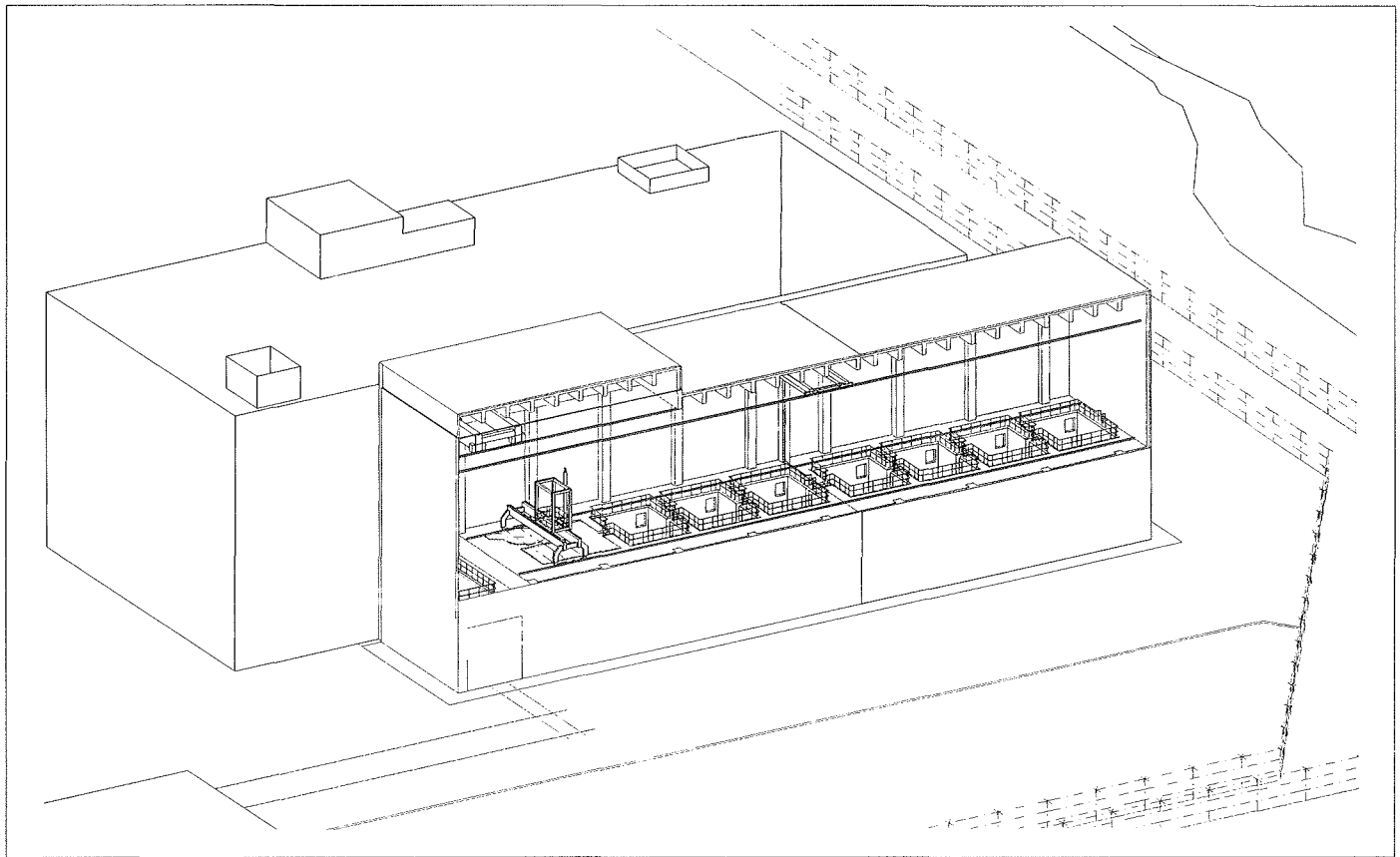
Tarvittava lisäkapasiteetti määräytyi voimalaitoksen käyttöiän perusteella, vaihtoehtoina tarkasteltiin 30 ja 45 vuotta.

### Loviisassa tilaa vielä kuudeksi vuodeksi

Loviisan voimalaitoksen nykyinen varastokapasiteetti riittää yli kymmenen käyttövuoden aikana kertyvällä polttoaineelle. Tilaa on vielä jäljellä kuuden vuoden polttoaineelle. Uutta kapasiteettia pitää olla käytettävissä viimeistään



# LOVIISAN KÄYTETYN POLTTOAINEEN VARASTOA LAAJENNETAAN



vuoden 2002 polttoaineenvaihdon yhteydessä.

Mukana olleista vaihtoehtoista vesiallasvarastot edustavat IVO:n omaa osaamista, johon kokemus on hankittu Loviisan ja Olkiluodon välivarastojen suunnittelun ja rakentamisen yhteydessä. Kuivat varastovaihtoehdot puolestaan ovat jo pitkään olleet voimakkaan kansainvälisen markkinoinnin kohteena, ja viimeaikoina toteutetuista käytetyn polttoaineen varastojen rakennushankkeista valtaosa on perustunut kuiviin ratkaisuihin.

Kaikista vaihtoehtoista tehtiin Loviisan voimalaitokselle sovelletut suunnitelmat, joissa otettiin huomioon nykyisten rakennusten lisäksi asemakaavan aiheuttamat rajoitukset.

Selvityksen mukaan kaikki vaihtoehdot ovat toteuttamiskelpoisia Loviisan

voimalaitoksen tarpeita ajatellen. Osa vaatii kuitenkin jonkin verran muutoksia ennenkuin ne täyttävät suomalaiset turvallisuusvaatimukset ja/tai soveltuvat Suomen ilmasto-olosuhteisiin.

Lupamenettelyn kannalta vaihtoehdot poikkevat merkittävästi toisistaan, joskin lopullinen ydinenergialain tulkinna saadaan vasta, kun lupaprosessi on käynnistetty. IVO:n tulkinna mukaan vesiallasvaraston laajennus ja nykyisten telineiden vaihtaminen tiheisiin telineisiin voidaan toteuttaa ilman valtioneuvoston periaatepäätöstä. Muiden vaihtoehtojen osalta periaatepäätöksen tarve on todennäköinen.

Kaikista vaihtoehtoista tehtiin kustannusarviot, jotka kattoivat suunnittelun, investoinnin, käytön ja käytöstäpoiston. Arviot laskettiin sekä juoksevassa rahassa että nykyarvoina käyttäen 5 prosentin reaalikorkoa. Edullisimmaksi vaihtoeh-

doksi osoittautui nykyisen kpa-varaston laajentaminen, kalleimpia puolestaan olivat siirtosäiliövarastot sekä vesiallasvarasto vlj-loppusijoitustilan yhteydessä.

Selvityksessä päädyttiin suosittelemaan nykyisen kpa-varasto 2:n laajentamista ensimmäisessä vaiheessa neljällä altaalla, jolloin kapasiteetti riittää 30 vuoden käyttöäälle. Jatkolaajennus voidaan toteuttaa joko lisäaltailla tai tiheillä telineillä.

Kpa-varaston laajennuksen suunnittelu käynnistyy kuluvan vuoden aikana ja laajennus on tarkoitus saada käyttöön vuosituhaten vaihteessa.

DI Jussi Palmu on Posiva Oy:n talouspäällikkö, p. (90) 2280 3750.

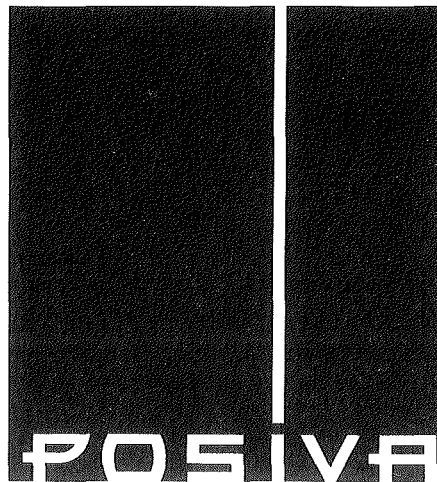
# YDINJÄTTEEN LOPPUSIJOITUS ON YMPÄRISTÖINVESTOINTI



*TVO ja IVO perustivat viime vuoden lokakuussa yhteisen yhtiön huolehtimaan ydinjätteen loppusijoituksesta. Vuoden alussa toimintansa aloittanut Posiva työllistää nyt parikymmentä ydinjätealan ammattilaisista. Viestintäyksikössä työskentelee neljä henkilöä, joista kaksi päätoimisesti. Viestinnässä tarvitaan kuitenkin myös muun henkilöstön ja konsulttien apua, sillä ydinjätteistä tiedetään hyvin vähän. Loppusijoituksen kannalta viestinnällä on suuri merkitys, sillä päätöksen asiasta tekevät ehdotetun kunnan asukkaat. Loppusijoituspaikka pitäisi löytää vuoteen 2000 mennessä.*

Posiva tekee yksityiskohtaisia sijoituspaikkatutkimuksia kolmella paikkakunnalla: Kuhmossa, Äänekoskella ja Eurajoella. Alustava paikkatutkimus on tehty Kannonkoskella, ja sellainen on tekeillä myös Loviisassa. Tutkimusten tavoitteena on löytää kallioperästä turvallinen sijoituspaikka Olkiluodon ja Loviisan ydinvoimaloiden käytetylle polttoaineelle. Loppusijoituspaikan valinta tehdään vuonna 2000.

Loppusijoituslaitokselle tarvitaan valtioneuvoston periaatepäätös. Myönteisen periaatepäätöksen edellytyksenä on Säteilyturvakeskuksen myönteinen lausunto turvallisuudesta sekä sen kunnan hyväksyntä, jonne loppusijoitus on aiottu tehdä. Valtioneuvoston päätös on vielä vahvistettava eduskunnassa. Loppusijoituslaitosta aletaan rakentaa 2010-luvulla, itse loppusijoitustoiminta aloitetaan vuonna 2020.



Posivan viestinnälle on asetettu tätä päätöksentekoprosessia myötäillen kaksi päätavoitetta: saavuttaa kuntalaisten hyväksyntä loppusijoitushankkeelle tutkimuskunnissa vuosituhannen vaihteessa ja edelleen, eduskunnan hyväksyntä vuoden 2000 jälkeen. Näihin tavoitteisiin pyritään käyttämällä useita, toisiaan tukevia keinoja. Tiedotamme meneillään olevista tutkimuksista, pidämme yhteyttä tutkimuspaikkakuntiin, järjestämme vierailuja voimalaitoksille, käytetyn polttoaineen varastoihin tai voimalaitosjäteluoliin.

Pidämme tärkeänä myös yhteistyön luomista koulujen kanssa sekä osallistumista erilaisiin tapahtumiin. Tutkimuspaikkakunnilla toimivana yrityksenä Posiva tukee myös paikallisia urheiluseuroja. Ulkoisen viestinnän rinnalla pyrimme pitämään myös oman henkilöstömme ja konsulttimme ajan tasalla. Koulutustakin järjestämme tarpeen mukaan.

## Tieto vähentää tuskaa

Ihmisillä on tunnetusti paljon ennakkoluuloja ja pelkoja ydinvoimaa ja ydinjätteitä kohtaan. Posivan viestintäpäällikkö Osmo Kurki on kerännyt vuonna 1994 lisenssiaatintyötään varten tietoja ydinjätteen loppusijoittamista koskevan informaation vastaanotosta ja hankinnasta Kuhmossa, Äänekoskella ja Eurajoella. Tutkimuksessaan hän havaitsi muun muassa, että mitä enemmän asiaa tiedetään, sitä luottavaisemmin siihen suhtaudutaan.

Myönteisimmin ydinjätteen loppusijoituksen suhtautuvat Eurajoen asukkaat ja kielteisimmin kuhmolaiset. Tulosta Kurki pitää ennalta odotettuna, koska Eurajoella ydinvoimaan on vuosien varrella totuttu ja asiasta tiedetään eniten. Äänekoski sijoittui tutkimuksessa kahden muun kunnan välimaastoon. Kurjen mielestä Äänekoskella sen vahvat teolliset perinteet vähentävät kielteisiä näkemyksiä, joskin jätteet ovat siellä uudempi asia kuin Kuhmossa.

Neljä viidestä kyselyyn vastanneesta on sitä mieltä, että Suomen on itse huolehdittava ydinjätteistään. Tästä huolimatta kolmasosa sijoittaisi ne muualle kuin omalle asuinpaikkakunnalleen. Huomattavana on pidettävä myös tulosta, jonka mukaan hieman yli puolet vastanneista pelkäisi asua loppusijoituslaitoksen lähellä.

## Mitä luullaan? Mitä tiedetään?

Joka viides vastaaja uskoo, että ydinjätteen loppusijoituslaitos levittää ilmaan vaarallisia saastepilviä. Kuhmolaisista ja äänekoskelaisista 60 % uskoo, että loppusijoituslaitos vaurioittaisi pahoin sijaintikunnan mainetta ja 50 % asuk-

kaista uskoo loppusijoituskunnan menettävän paljon matkailutuloja.

Vain joka kolmas kuuhmolainen ja äänekoskelainen tiesi ydinpolttoaineen olevan pieniksi tableteiksi puristettua kiinteää ainetta ja ainoastaan joka kymmenes vastaaja tiesi, että jo metrin paksuinen kallio riittää pysäyttämään jätesäiliöistä lähtevän säteilyn. Joka toisen vastaajan mielestä kalliosta on tarkoitus löytää sellainen kohta, jossa ei ole pohjavettä. Viidennes tutkimuskuntien asukkaista tiesi, että loppusijoituslaitoksesta maksetaan kunnalle kiinteistöveroä enimmillään noin 8 miljoonaa markkaa vuodessa, ja että laitos työllistää käyttöaikanaan yli sata ihmistä.

## Ydinjätteitä ei haluta ajatella

Koska tietoa asiasta on siis hyvin vähän, asenteet ja mielipiteet pohjautuvat pitkälti mielikuviin, jotka syntyvät muun muassa aiheesta tehdyistä elokuvista tai muualla maailmassa tapahtuneista onnettomuuksista. Ihmisten tuoreessa muistissa ovat varmasti myös Mururoan ydinkokeet. Ydinjäteviestinnän haasteellisuutta lisää vielä se, että ihmiset eivät haluaisi aktiivisesti ajatella koko asiaa. Meidän tehtävämme on oikoa väärinkäsityksiä ja vähentää pelkoja ymmärrettävää tietoa antamalla. Pelot ovat syntyneet aikojen kuluessa ja juurtuneet syväälle, emmekä me uskoakaan, että niitä voi kokonaan poistaa.

Kevään aikana toteutamme laajamittaisen kampanjan, jonka avulla teemme yritystämme tunnetuksi ja herätämme ihmisiä ajattelemaan ydinjättekysymystä. Loppusijoitus on meidän kaikkien yhteinen asia, yksi aikamme suurimmista ympäristöinvestoinneista, joka on hyvissä käsissä. Tehtävämme ei ole yksinkertainen — mutta ei mahdotonkaan.

FM **Saila Aarnio** on Posiva Oy:n tiedottaja, p. (90) 2280 3762.

## ATS:N KUUKAUSIKOKOUS 25.1.1996

*Tammikuun kuukausikokouksen teemana oli tutustuminen Imatran Voima Oy:n ydinturvallisuustutkimukseen Viikin Virtauslaboratorion tiloissa. Kokouksessa pidettiin kolme alustusta.*

Tkt **Harri Tuomisto** esitteli yleisesti IVOn vakavien reaktorionnettomuuksien hallintastrategiaa eli primääripiirin hallittua paineenalennusta, äkillisten energiapurkausten eliminointia muun muassa vedyn hallinnalla, sydänsulan jäähdytystä ja pidättämistä paineastian alaosassa ulkopuolisen jäähdytyksen avulla sekä suojarakennuksen jäähdytystä ulkopuolisella ruiskutuksella. Näistä viimeksimainittu on jo toteutettu ja vedyn hallintaan on nykyään käytössä vetysyöttimiä. STUK on jo tehnyt myönteisen päätöksen IVOn suunnitelmien yleisperiaatteesta paineastian ulkopuolisen jäähdytyksen osalta.

DI **Olli Kymäläinen** kuvasi, miten vakavassa onnettomuudessa sydänsulan kulku on pysäytettävissä paineastian pohjalle johtuen Loviisan laitoksen erityispiirteistä eli pienestä tehoitheydestä, suurista vesitilavuuksista, mukaan lukien jäälauhduttamista sulava vesi. Johtopäätösten kokeelliseen varmentamiseen käytetään Viikissä olevaa COPO-laitteistoa

(lämpövuojakautuman määritys volumetrisesti lämmitetyssä altaassa) ja Kaliforniassa olevaa ULPU-laitteistoa (ulkopuolisen kriittisen lämpövuon määritys). COPOssa sydänsulan kuvataan vesi-sinkkisulfaattiliuoksella, jota lämmitetään johtamalla sähkövirtaa sen läpi. Lämpötilaeron kasvattamiseksi laitteistoa modifioidaan ulkopuolelta nestetypellä jäähdytettäväksi. Pohjajuodoltaan muutettua toista laitteistoa tullaan käyttämään AP-600 reaktoria koskeissa kokeissa.

DI **Petra Lundström** kertoi vedyn hallintaan liittyvistä tutkimuksista. Vedyn hallinnassa ongelmana ei ole vedyn kokonaismäärä, vaan mahdollisuudet puutteelliseen sekoittumiseen ja paikallisesti korkeampiin vetypitoisuuksiin. Varmistusselvitysten kohteena olevassa uudessa vedyn hallintastrategiassa osa vetysyöttimistä korvataan katalyyttisilla rekombinaattoreilla ja tehostetaan vedyn sekoittumista suojarakennuksen eri tiloissa. Viikissä olevaa VICTORIA-laitteistoa käytetään vetyä kuvaavan heliumkaasun jakautuman selvittämiseen sekä aerosolien käyttäytymisen selvittämiseen.

*Seppo Vuori, VTT Energia*

## ATS JAKOI GUERILLOT'N KIRJOITAJASTIPENDIT VUOSILLE 1994-1995

*ATS:n vuosikokouksessa 27.2.1996 jaettiin stipendit vuosien 1994-1995 parhaille ATS Ydintekniikka -lehden kirjoittajille.*

Stipendien jaon mahdollisti ATS:n Guerillot'n säätiöltä vuonna 1995 saama tuki. Stipendien saajat valitsi Seuran johtokunta, ja palkitsemisperusteita luonnehdittiin seuraavasti:

**Markku Anttila**, 4000 mk, kahdesta poikkeuksellisen hyvin kirjoitetusta ja vaikeita aiheita laaja-alaisesta käsitelystä kirjoituksesta (numerot 2 ja 3/95)

**Stefan Forss**, 3000 mk, Kuolan ydinjätetilanteeseen pureutuvasta mielenkiintoisesta kirjoituksesta, joka kiinnostaa myös alan ulkopuolisia (1/95)

**Pekka Lehtinen**, 5000 mk, pitkistä ja luetusta kirjoitussarjastaan "Lyhyesti maailmalta" (sarja päättyi vuonna 1995)

**Olli Vilkkamo**, 3000 mk, edelleen erittäin ajankohtaisesta aiheesta kirjoitetusta Tsheljabinsk-artikkelista (1/95)

*Jorma Aurela, IVO-Loviisa*

# English abstracts

## EDITORIAL

Aurela (page 1)

The editorial shortly discusses the new editorial staff and the publishing policy of ATS Ydintekniikka. The first issue in 1996 is devoted to two topics of today: Chernobyl and the current Finnish nuclear situation. The latter is perhaps making a comeback to the public discussion this year. So the contemporary nuclear situation of today is described.

There are plans to uprate all four reactors before 1998. These would allow Loviisa for an electric output of 107–109% of the nominal power and Olkiluoto even 115 %.

In 1994 the Finnish Parliament ratified an amendment in the Nuclear Energy Act, which bans all export and import of nuclear waste to and from Finland. IVO will stop transporting spent fuel to Russia in 1996 (one delivery left). A new company named POSIVA was established for the final disposal of all spent fuel in the Finnish bedrock (owned by TVO 60 % and IVO 40 %, company started operations in January 1996).

IVO has continued the construction at Loviisa of a final repository for low and medium-active waste (Hästhölm, Loviisa, 110 m deep). The facility is expected to be operational in 1997.

The initiative to start the real discussion of a new plant has been quite vague after the rejection by the Finnish Parliament to allow the fifth nuclear power plant to be built in Finland (24 September 1993). But this may change this year and the members of the Finnish Nuclear Society are invited to make their contributions both in their own magazine and in the public debate.

## PRESENT VIEWS OF THE CHERNOBYL REACTOR ACCIDENT

Peltonen (page 2)

The causes of the accident at Chernobyl Unit 4 on April 26, 1986 are discussed. The IAEA's International Nuclear Safety Advisory Group has reconsidered the root cause of the accident in the report INSAG-7. The shortcomings in the neutron physics characteristics of RBMK-type reactors were the positive void reactivity coefficient and the possibility of positive scram. The operating reactivity margin concept is seen as inappropriate for complete assurance that the control rod configuration secures fully adequate reactor protection. Two earlier accidents at RBMK reactors, a fuel channel failure at Leningrad 1 in 1975 and a fuel failure at Chernobyl 1 in 1982, had indicated weaknesses in the characteristics and operation of RBMK units. IAEA organized a consultants' meeting on void reactivity effects in RBMK reactors in Moscow 1995. In the meeting the phenomena influencing the void reactivity coefficient, the calculational tools and the status of experimental determination of the void reactivity coefficient in operating RBMKs were discussed.

## FINNISH EXPERTS ACTIVE IN CO-OPERATION WITH THE EAST

Reponen (page 6)

Emphasized need to analyse and improve the safety of the RBMK's, which are judged to be the least safe of the Soviet-designed reactors, rose in Finland in the beginning of 1990's at the same time as in several other Western countries. By funding from the Finnish government the co-operation in this area has been going on at the reactors in Sosnovy Bor since 1992. The limited resources do not allow to cure all the identified shortcomings and thus the activities have been restricted to a few obvious topics and training the plant staff into independent strive to excellence. The knowledge and experience gained has also effectively been utilised in international studies and assistance programmes.

## RBMK REACTORS TODAY

Ollikkala (page 10)

Safety has been improved but risk for a severe accident with environmental effects remains. Most of the RBMK reactors operating at the time of Chernobyl accident are still in use today, ten years after the accident. Reactors have been repaired to correct the features and design errors, which were identified as main causes of Chernobyl accident. In addition backfitting has been made to improve the safety level and to lengthen the technical life of the RBMK reactors. There are, however, safety issues which remain to be solved.

## **SOCIETAL IMPACTS OF THE CHERNOBYL DISASTER**

Paajanen (page 13)

The article describes the extensive societal impacts of the Chernobyl accident in Ukraine and Belorussia from the viewpoint of a newspaper journalist having close contacts to the inhabitants in these countries. The various impacts of the accident will continue to have major and long-term consequences on the economy of these countries in general and more specifically on agriculture & foodstuff production, health care and social welfare as well as huge psychological suffering to the people. The article also takes notice of the negative impact that the accident has had on the progress of nuclear power programmes in other European countries and even world-wide.

## **CHILDHOOD THYROID CANCER INCREASED IN AREAS AROUND CHERNOBYL**

Paile (page 15)

The population in Belarus, Ukraine and Russia who was exposed to the fallout from Chernobyl has suffered from many physical and mental health problems, which are not directly related to radiation. Instead, many health problems are linked to radiation protection countermeasures such as evacuation, food restrictions and other limitations of daily life. Fear for health consequences for people themselves or for their children has influenced mental well-being even in relatively clean areas. In comparison to these effects, the direct health effects from radiation are not great. Of the rescue people who worked in the reactor on the night of the

catastrophe, 30 died from acute radiation injury. Later on there has appeared around 600 cases of thyroid carcinoma in children. Other health effects which relate directly to radiation have not thus far been observed.

## **RADIATION DOSES TO FINNS**

Rantalainen (page 18)

The estimated annual radiation doses to Finns have been reduced in the recent years without any change in the actual radiation environment. This is because the radiation risk factors of the different radiation types have been changed. The risk factors will probably be changed again in the future, because recent studies show discrepancies in the neutron dosimetry concerning the city of Hiroshima. Neutron dosimetry discrepancy has been found between the predicted and estimated neutron radiation. The prediction of neutron radiation is calculated by Monte Carlo simulations, which have also been used when designing recommendations for the limits of radiation doses (ICRP60).

Estimation of the neutron radiation is made on the basis of measured neutron activation of materials in the city. The estimated neutron dose beyond 1 km is two to ten, or more, times as high as the predicted dose. This discrepancy is important, because the most relevant distances with respect to radiation risk evaluation are between 1 and 2 km. Because of this discrepancy, the present radiation risk factors for gamma and neutron radiation, which rely on the Monte Carlo calculations, are false, too. The recommendations of ICRP60 have been adopted in a few countries, including Finland, and they affect the planned common limits of the EU. It is

questionable whether happiness is increased by adopting false limits, even if they are common.

## **MODERNIZATION AND UPGRADING OF OLKILUOTO NPP**

Kangas (page 20)

TVO I and II were synchronized in 1979 and 1980, respectively. The two plant units have been continuously developed during the more than 15 years of operation, but for the most part they still represent technology from the 1970's. Now the plant development is being continued and intensified by combining the actions scheduled for the next few years into a single modernization project.

Main objectives of the project include the review, and if feasible, enhancing, of plant safety features. This includes actions aiming at reduction of radiological environmental impacts and occupational doses. Another primary goal is the improvement of plant production capabilities. This is accomplished by reducing operational disturbances, improving thermal efficiency and upgrading reactor power. The latter aims at a new thermal output of 2500 MW, i.e. an increase of about 15%, while maintaining acceptable safety margins.

The project is scheduled so that its results can be considered when applying for new operating licences for the plant in 1998. The budget for the project is 800 MFIM.

The project is implemented in more than thirty subprojects which fall into R&D study and modification project categories. The former are mainly carried out during 1994–1996 and include e.g. plant design basis review, severe accident management review and a level 2 PSA study.

The major plant modifications are scheduled to take place in 1996–1997 in TVO I and in 1997–1998 in TVO II and include e.g. increasing reactor overpressurization protection and residual heat removal capacities as well as replacement of reactor internal steam separators, low pressure turbines, main transformers, generator breakers, main generators, turbine control and protection as well as neutron flux measuring systems.

#### **LOVIISA NPP MODERNIZATION AND POWER UPGRADING**

Keskinen (page 22)

Imatran Voima Ltd improves the efficiency of the Loviisa Nuclear Power Plant in one with the modernization of the turbines and other devices. There are also plans to upgrade the nominal thermal power of the reactor in connection to the modernizations to be carried out. The electrical net rated output of the plant will increase about 10 % which means nearly 100 MW. The cost estimate of the project is around 200 million Finnish marks. The implementation of the project will be carried out in several phases during the years from 1995 to 2000.

#### **LOVIISA STARTS LOW-LEVEL OPERATING WASTE DISPOSAL IN 1997**

Snellman (page 24)

At an early stage Imatran Voima Oy (IVO) decided to construct a waste repository for Loviisa nuclear power plant units (Loviisa 1 and 2, 2 x 445 Mw<sub>e</sub>). The suitability of the power plant site for final disposal of low- and intermediate-level operating waste was studied. In the site report in 1982 the plant site was found to be geologically suitable and economically feasible for construction.

The necessary preparations started at the island of Hästholmen in 1992. The excavation work started at the end of February 1993. By the end of 1995 all the excavation work was done and a part of the internal constructions were finished.

The repository will be constructed in three phases. The first phase will cover the transport tunnel, construction of one maintenance waste tunnel and the excavation of another maintenance waste tunnel together with a hall for solidified wastes. This phase will be finished by the end of 1996. At that time also the application for licensing the repository will be presented to the Finnish nuclear authority (STUK). During the second phase in the beginning of next century the remaining already excavated rooms will be furnished. Finally in the third phase the repository will be extended for the decommissioning waste somewhere around years 2020–2025.

The budget for the first two phases is around 75 million Finnish marks ( 16 million US \$).

#### **FINAL DISPOSAL IS AN ENVIRONMENTAL MATTER**

Aarnio (page 28)

The power utilities, TVO and IVO, set up a joint company last October to take care of the spent fuel. This company, Posiva, formally began its operations at the beginning of this year, and it employs approximately twenty people at the moment. In the department of communication there are four persons, two of them full-time. Yet in communications we need all the assistance we can get from the other personnel and consultants, since the knowledge people have of nuclear waste is very scarce. Communication plays a significant role in the process of final disposal, because it will be the decision of the people in the municipality where the final repository is to be located. This municipality should be found by the year 2000.



SUOMEN  
ATOMITEKNILLINEN  
SEURA -

ATOMTEKNISKA  
SÄLLSKAPET  
I FINLAND ry



DI  
JORMA KOTRO  
SALAKKAKUJA 10-12 A1  
02170 ESPOO

## Kannatusjäsenet

ABB Strömberg Power Oy  
Fintact Ky  
Imatran Voima Oy  
Kemira Oy  
Mercantile Oy  
NAF Oy  
Neste Oy  
Pohjolan Voima Oy  
PRG-Tec Oy  
Rados Oy  
Saanio & Riekkola Oy  
Siemens Osakeyhtiö  
Suomen Atomivakuutuspooli  
Suomen Malmi Oy  
Teollisuuden Voima Oy  
Terasto Oy  
VTT Energia  
YIT-Yhtymä Oy