

SUOMEN  
ATOMITEKNILLINEN  
SEURA-

ATOMTEKNISKA  
SÄLLSKAPET  
I FINLAND ry.



# ATS

## YDINTEKNIikka

3/91

vol. 20



**ATS 25 VUOTTA  
JUHLANUMERO**

# ATS

## YDINTEKNIikka

### 3/91, vol. 20

*Kansikuva: Akateemikko Erkki Laurilan johdolla Neuvostoliitossa vierailleen atomivaltuuskunnan matkan aikana helmikuussa 1966 kypsyi jo aikaisemminkin esillä ollut ajatus Suomen Atomiteknillisen Seuran perustamisesta. Atomivaltuuskunta vasemmalta oikealle Kalevi Numminen, Pentti Malaska, 2 isäntää, Konstantin Lembidakis (tulkki), Bjarne Regnell, Ilkka Mäkipentti, Kaarlo Kivistö, Uolevi Kontinen, Erkki Laurila, Daniel Jäfs ja Olavi Vapaavuori. Lembidakista lukuunottamatta kaikki ovat ATS:n perustajajäseniä. Matkan päättäjäiskokouksessa 12.4.1966 Seuran perustaminen sai vauhtia, kun sääntöjä valmistelemaan nimettiin toimikunta, johon kuuluivat puheenjohtaja Pekka Jauho, sihteeri Kalevi Numminen, Olavi Vapaavuori ja Daniel Jäfs. Perustava kokous pidettiin 24.5.1966. Kaikkiaan perustajajäseniä oli 21.*

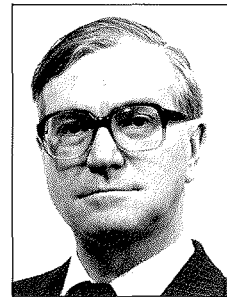
## JUHLANUMERO: ATS 25 VUOTTA

### SISÄLTÖ

- 1 *Pekka Jauho*  
Pääkirjoitus: ATS:n täyttäessä 25 vuotta
- ATS 25 VUOTTA
- 2 *Rainer Salomaa*  
ATS — Suomen Atomiteknillinen Seura
- 4 *Jorma Aurela, Pertti Salminen*  
ATS — perustamisesta aktiiviseen toimintaan
- 12 *Petra Lundström*  
ATS — ukkoutuvan alan johtotähtikö?
- YDINTEKNIIKAN ENSIASKELEISTA NYKYPÄIVÄÄN
- 14 *Jorma K. Miettinen*  
Ydintekniikan rauhanomaisen hyödyntämisen kehitys
- 18 *Erkki Laurila*  
Ydintekniikan maihinnousu Suomeen
- 20 *Juhani Kuusi*  
Ydintekniikka teknologiaveturina
- 22 *Martti Mutru*  
IAEA — ydinvoiman edistäjä ja turvallisuuden vaalija
- 25 *Antti Vuorinen*  
Säteilyturvakeskus valvoo ydinvoiman turvallisuutta
- 29 *Kalevi Numminen*  
Miten nuoret insinöörit oppivat rakentamaan ydinalaitoksen
- 34 *Magnus von Bonsdorff*  
Ruotsalaistakin parempi ruotsalainen
- 36 *Nils Björklund*  
Finnatomin osuus ydinenergia ratkaisuisissa
- YDINTURVALLISUUS ENNEN KAIKKEA
- 39 *Jukka Laaksonen*  
Miten turvallinen on riittävän turvallinen?
- 41 *Bjarne Regnell*  
Ydinturvallisuus — kansainvälistä yhteistyötä parhaimmillaan
- 45 *Anneli Salo*  
Säteilysuojelu takaa riittävän turvallisuustason
- 49 *Lasse Mattila*  
Ydinvoimalaitosten turvallisuus
- 52 *Sirkka Vilkamo, Seppo Vuori*  
Ydinjätehuollon turvallisuus ja kustannukset
- 55 *Simo Rannikko*  
Säteilyn hyväksikäyttö ja käytön hyväksyttävyyys
- YDINENERGIA JA YHTEISKUNTA
- 58 *Lasse Nevanlinna*  
Tavoitteena kestävä kehitys
- 63 *Ulla Sirkeinen*  
Onko ydinvoimalla sukupuolta?
- 65 *Ilkka Mäkipentti*  
Ydinvoimalla keskeinen asema maailman sähköhuollossa
- 68 *Raimo Pekkanen*  
Ydinvoimalapäätös osana kansanvaltaa
- 70 *Hannu Salokorpi*  
Ydinvoiman yhteiskunnallisen hyväksyttävyyden ongelma
- 72 *Ilkka Mikkola*  
Uraania riittää
- 73 *Pekka Pirilä*  
Energiajärjestelmän haavoittuvuus
- YDINTEKNIIKAN KEHITYSNÄKYMÄ
- 76 *Erkki Aalto*  
Pieni ja passiivinen vai suuri ja aktiivinen?
- 79 *Pekka Silvennoinen*  
Plutonium, hyödytön myrkkö vai ehtymätöntä energiaa
- 82 *Seppo Karttunen*  
Onko fuusio lopullinen ratkaisu maailman energiahuoltoon?
- 85 *Heikki Kalli*  
Ydintekniikan koulutuksen nykytila ja kehittäminen
- 88 *Jorma Routti*  
Ydintekniikan tutkimuksen tukevaisuuden näkymiä
- ENGLISH ABSTRACTS
- 92 *Anniversary publication:*  
Finnish Nuclear Society's 25th anniversary

Akateemikko Pekka Jauho on ATS:n perustaja- ja kunniajäsen sekä ensimmäinen puheenjohtaja vuosina 1966—1967. Hän on myös ENS:n (European Nuclear Society) kunniajäsen. Puh. 90-4513132.

*Pekka Jauho*



## ATS:n täyttäessä 25 vuotta

*Ydintekniikka on huipputekniikkaan perustuva energiantuotantoteknologia, jonka juuret ovat syvällä fysikaalisessa perustutkimuksessa. Protoni, neutroni, ydin, fissio ja ketjureaktio olivat eturintaman tutkimusta puoli vuosisataa sitten. Myös impulssi soveltamiseen tuli fyysikkojen taholta. Tekniikan kypsymistä nopeutti ydinaseen kehittämisen runsas rahoitus ja pommin stigmaa kantaa ydinenergia edelleen.*

*Ydinenergia ei ole tavanomainen energiantuotantomuoto, vaikka se käytön laajetessa ja tekniikan kehittyessä on muodostunutkin tutuksi. Siihen liittyy eräitä erikoispiirteitä, joita ei tule unohtaa. Ydinteknologia on vaativaa monitieteellistä toimintaa, jonka menestyksellinen soveltaminen vaatii korkeaa tekniikan osaamista, syvällistä teknillistä sivistystä, stabiilia yhteiskuntaa ja korkeaa ammattimoraalia. Ilman näitä ei ydinenergian tuottaminen taloudellisesti ja turvallisesti onnistu.*

*Ydinvoimaan liittyviä erikoisongelmia ovat radioaktiivisuus ja sen leviämismahdollisuus, mahdollisuus erilaisiin onnettomuustilanteisiin sekä jätteiden vaaraton käsittely ja sijoitus. Ongelmia nämä ovat vain, jos niitä ei hallita. Kokemukset parhaiten rakennetuista ja käytetyistä ydinvoimalaitoksista osoittavat, että tekniikka kaikilta osiltaan voidaan hallita tyydyttävästi. Käynnissä olevat kehitystyöt antavat uskoa siihen, että toisen sukupolven laitokset täyttävät entistä paremmin asetettavat ankarat turvallisuus- ja käyttövarmuusvaatimukset.*

*Tuntuu mahdolliselta, että voidaan kehittää voimalaitos, josta ei leviä suuria aktiivisuuspäästöjä edes sydämen sulamisonnettomuuden yhteydessä. Tämä ominaisuus liitettynä onnettomuustodennäköisyyden pienemiseen sisäisten turvallisuustekijöiden avulla johtaa ympäristöuhkaan, jonka tulisi kaikkien kriteerien valossa olla hyväksyttävä ja tasolla, joka ei kokonaiskustannuksenaan mainittavasti vaikuta laitosten talouteen. Tästä huolimatta voidaan rakentaa myös epätydyttävän turvallisuusprofiilin laitoksia, jos henkilökunta ei täytä sille asetettavia vaatimuksia. Tämän tilanteen syntyminen on ehdottomasti ehkäistävä kansainvälistä ja kansallista turvallisuusvalvontaa kehittämällä.*

*Monet energiatuotannon globaalit kehitystrendit viittaavat siihen, että häiriötön energiantuotanto kaikissa olosuhteissa tulee yhä vaikeammin toteutettavaksi päämääräksi. Kumminkin koko teollisen yhteiskunnan olemassaolo on riippuvainen tästä tekijästä. Fuusioenergia viipyy, aurinko ei tule kysymykseen meidän oloissamme, tuulienergia on vain marginaalinen epävarma lisä, säästäminen ei ole energialähde, joka toimii tarvittaessa. Se mitä tarvitaan on energialähde, joka suurskaalassa tuottaa luotettavasti voimaa silloin kun sitä tarvitaan. Ympäristön asettamista reunaehdoista johtuen voi tulevaisuudessa jäädä jäljelle vain yksi ratkaisu, ydinenergia.*

*ATS:aa tarvitaan edelleen. Sen rooli mahdollisimman objektiivisen tiedon levittäjänä ei saa heikentyä, sen on edelleenkin toimittava monitieteellisen ydinteknikkokunnan yhdyssiteenä, sen on myös tulevaisuudessa vastattava jäseniensä ammattitaidosta ja yhteenkuuluvaisuudentunnosta, jolla lepää terve ammattiylpeys.* □

ATS YDINTEKNIikka (20) 3/91

ATS 25 VUOTTA

JUHLANUMERON TOIMITUS

Päätoimittaja:  
Pekka Jauho

Toimitussihteeri:  
Pertti Salminen

Toimitus:  
Jorma Aurela  
Nils Björklund  
Antti Hanelius  
Osmo Kaipainen  
Pirkko Mäki-Nikkilä  
Lasse Nevanlinna  
Heikki Raumolin  
Kirsti Tossavainen

Taitto:  
Minna Rahkonen

Painopaikka:  
Kirjapaino Lars Eriksen Oy

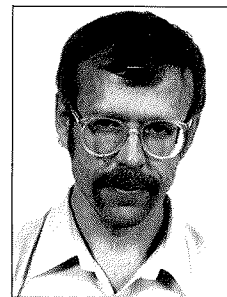
Julkaisija:  
Suomen Atomiteknillinen Seura —  
Atomtekniska Sällskapet  
i Finland r.y.

Vuosikerran tilaushinta muilta kuin  
ATS:n jäseniltä: 200 mk

Toimituksen osoite:  
ATS Ydintekniikka  
c/o Pertti Salminen  
Teollisuuden Keskusliitto  
Eteläranta 10, PL 220  
00131 Helsinki  
p. 90-180 9233  
telefax 90-180 9209

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

ISSN-0356-0473



# ATS — Suomen Atomiteknillinen Seura

Kun Suomi kuusikymmentäluvulla siirtyi atomiaikaan, ydintekniikan tutkimus- ja kehitysyksiköt luotiin hajalleen voimayhtiöihin, valtion tutkimuslaitoksiin, korkeakouluihin ja yliopistoihin. Monissa muissa maissa vastaava toiminta oli koottu suuriin tutkimuskeskuksiin. Keskitetty järjestelmä olisi Suomessakin ehkä johtanut mittavampiin tutkimushankkeisiin sekä joillain osa-alueilla hyvinkin syvälliseen osaamiseen, mutta tällöin olisi menetetty pienten yksiköiden joustavuus ja sopeutumiskyky. Useat suuret kansainväliset tutkimuslaitoksethan ovat ajautuneet vaikeuksiin ydintekniikan laman myötä. Hajautetun järjestelmän vaarana toisaalta on, että tutkimusryhmät eristäytyvät ja syntyvät päällekkäisiä toimintoja. Suomessa nämä ongelmat tiedostettiin jo varhain ja erääksi elimeksi hoitamaan ammatillista yhteydenpitoa perustettiin 24.5.1966 Suomen Atomiteknillinen Seura — ATS.

Yhä tänään ATS:n keskeisin tehtävä on toimia mitä erilaisimpien tehtävien parissa työskentelevien ydintekniikan ammattilaisten teknistieteellisenä yhteisönä. Toi-

minnan tavoitteet ovat yhtä ajankohtaiset kuin perustamispäivänä. Seuran sääntöjen mukaan ne ovat "atomiteknikan alalla:

- 1) edistää alan tuntemusta ja kehitystä maassamme,
- 2) toimia yhdyssiteenä jäsentensä kesken kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi ottaen huomioon kaikki ne ammattikunnat, jotka joutuvat tekemisiin atomiteknikan kanssa, ja
- 3) vaihtaa tietoja ja kokemuksia kansainvälisellä tasolla."

Seura edustaa kaikkia säteilyn parissa työskenteleviä tahoja: jäsenkuntaamme kuuluu ydinvoimaviranomaisia, voimayhtiöiden palkkalistoilla olevia kuten myös yliopistojen ja korkeakoulujen tutkijoita. Näin laajapohjainen jäsenjoukko ei suinkaan ole itsestäänselvyys. Monissa muissa maissa ovat säteilyviranomaiset, voimalahenkilöstö, säteilyfyysikot ja radiokemistit erkautuneet kukin omiin järjestöihinsä. Kun on pyritty huolehtimaan siitä, et-

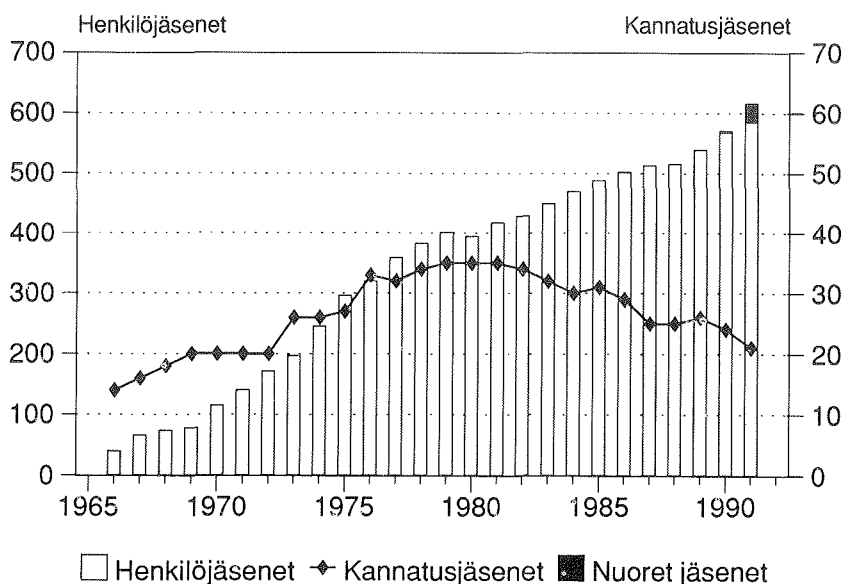
tä ATS säilyttää puhtaasti teknistieteellisen ilmeensä, tehokas koko ydintekniikan ammattikunnan kattava ja kannattama toiminta on onnistuttu ylläpitämään.

ATS:n päätiedotuskanava on neljästi vuodessa ilmestyvä ATS Ydintekniikka -lehti, johon seuran yli kuusisataapäinen jäsenkunta on kiitettävän aktiivisesti lähettänyt monia mielenkiintoisia juttuja. Kuukausikokoukset esitelmineen ja keskusteluneen sekä koti- ja ulkomaan opintoretket ovat osa vakiintunutta jäsen-toimintaa. "Uraani halkeaa"-tilaisuus tiedekeskus Heurekassa syksyllä 1989 ja syysseminaarit edustavat uudempiä linjaa. Tämän vuoden "kotimaan" ekskursion tehtiin ABB:n polttoainetehtaaseen Västeråsiin ja Forsmarkin laitoksille. Ulkomaan ekskursion suuntautuu Espanjaan.

Kaikki kansainvälistyy nykyisin lujaa vauhtia. Maailmanlaajuisissa organisaatioissa yksittäiset henkilökontaktit eivät enää riitä, vaan kansallisten järjestöjen merkitys kasvaa yhteydenpidossa. ATS on Euroopan Ydintekniikan seuran — European Nuclear Society (ENS) -perustajajäsen ja toimii siten linkkinä Eurooppaan. ENS-liitännän myötä ATS:n jäsenet saavat myös ENS:n jäsenedut, joista merkittävimpiä ovat "Nuclear Europe Worldscan"-lehti sekä Nucleus-tiedote. ATS:n jäsenistöä on ENS:n johto- ja suunnitteluelimissä. Seura on ollut aktiivisesti mukana luomassa ydinvoima-alan tietoja välittävää NucNet-verkkoa ja osallistunut ydinvoiman tiedottamista pohtivaan kansainväliseen PIME-työryhmään. Erityisen kiinteät suhteet on luotu naapurimaidemme Ruotsin ja Neuvostoliiton ydintekniisiin seuroihin. Neuvostoliiton tilanne on ollut viime vuosina erityisen kiinnostava: aiheesta on esitetty luvottoman kirjavaa informaatiota, jota neuvostoliittolaisten asiantuntijoiden pitämät esitelmät ATS:n kuukausikokouksissa ovat varsin tarpeellisesti oikoneet ja selkiyttäneet.

Kotimaassa ATS harjoittaa yhteistyötä muiden tieteellisten seurojen kanssa Tieteellisten seurain valtuuskunnan ja Tekniikan alojen valtakunnallisten yhdistysten neuvottelukunnan puitteissa. ATS:n jäsenet ovat tehneet ansiokasta työtä ydintekniikan tiedotteiden, esitteiden ja oppaiden laatimisessa sekä luomalla ydintekniikan sanastoja. Seura on ottanut julkisesti kantaa alaansa liittyviin keskeisiin asioihin: viimeksi Triga-koereaktorin

## ATS Jäsenmäärän kehitys





kohtaloon sekä ydinvoiman osuuteen kasviuoneilmion torjumisessa.

Seuran ylivoimaisesti haasteellisin tehtävä on yleisötiedottaminen. Ydintekniikka on kieltämättä melko mutkikas ala ja asioiden pilkkominen yksittäisiin helppotajuisiin palasiin on vaikeaa. Ydinvoiman vastustajien tapa välttää kokonaisuusien tarkastelua ja tarjota ei-realistisia tai vaikutuksiltaan marginaalisia ydinvoimaa korvaavia patenttiratkaisuja ei ole rehellistä. Jo Suomen nykyisiä ydinvoimallaitoksia hankittaessa esitettiin epäilyjä niiden kannattavuudesta "koska nopeat ydintoreaktorit sekä fuusioreaktorit jo olivat aivan oven takana".

ATS on aktiivisesti pyrkinyt välittämään asiallista informaatiota tiedotusvälineille: toimittajille on järjestetty kursseja ja kuukausikokouksien ulkomaisten vierailijoiden ohjelmaan on useimmiten sisällytetty lehdistötilaisuus. Jäsenistömme on ydintekniikan parasta ammattikuntaa, joka pystyy antamaan todenperäisen ja objektiivisen kuvan ydinvoimasta ja ydintekniikasta silti sortumatta säteilyn käytön riskien vähättelyyn. Tiedotustoimin-

taa on ansiokkaasti hoitanut siihen vartavasten luotu työryhmä ATS-Info. Suomennettu Nucleus-tiedote on jaettu päätäjille. NucNet-tietoverkon myötä ydinvoima-alan kansainvälisistä tapahtumista saadaan hyvin nopeasti maahamme luotettavaa ammattitietoa. Tiedon kulun nopeudessa on vielä kuitenkin tarve kiritä, jotta uutisankat voitaisiin ampuu lentoonsa. Informaation levittämisen uusi iskujoukko on Energiakanava, joka on keskittynyt kertomaan erityisesti naisille ydinvoimasta.

ATS työskentelee hyvin moni-ilmeisellä tekniikan saralla. Säteilyn käyttö on hyväksytty lääketieteellisissä sovelluksissa sekä merkkiainetutkimuksissa. Avaruuslentoja tai tieteellistä tutkimusta suurilla kiihdyttimillä tai fuusiolaitteilla ei aseteta kyseenalaisiksi, vaikka niihin liittyy huomattavia säteilyriskejä. Jokapäiväisessä elämässämme joudumme tekemisiin radonin, ultraviolettisäteilyn, mikroaaltojen ja monen muun säteilylähteen kanssa. Aina löytyy muutama säteilyfobian uhri, jota ei millään terapialla voi parantaa. Suuri enemmistö kuitenkin pystyy suhtautumaan kiihköttömästi ympäröivään sätei-

lyyn, hyväksymään siitä aiheutuvat pienet riskit sekä oivaltamaan, että säteilyä vastaan voidaan suojautua. Säteilyn vaikutuksia ja sovelluksia tutkitaan jatkuvasti. Pitkällä tähtäyksellä tulee tapahtumaan uusia ydintekniikan aluevaltauksia: nopeat hyötöreaktorit tai muut uudet fissioreaktorityypit, fuusioreaktorit, fissiojätteiden transmutaatio. Näiden alojen tuoreiden tutkimustulosten välittämisen jäsenistölle ja suurelle yleisölle on ATS:n tärkeä tehtävä. ATS:llä on edessään vielä monta kynnnettävää työskarkaa. □

Tkt Rainer Salomaa on TKK:n teknillisen fysiikan laitoksen va. professori. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1981 ja johtokunnan jäsen vuodesta 1989 sekä oli Seuran varapuheenjohtaja vuosina 1989-1990 ja on Seuran nykyinen puheenjohtaja vuodesta 1991. Puh. 90-4513199.

## ATS:n johtokunnat Seuran perustamisesta lähtien

	Puheenjohtaja	Varapuheenjohtaja	Rahastonhoitaja	Sihteeri	Jäsenet (3 kpl)		
1966	Pekka Jauho	Uolevi Luoto	Tapio Eurola	Kalevi Numminen	Pentti Alajoki	Ilkka Mäkipentti	Norman Westerberg
1967	Pekka Jauho	Daniel Jäfs	Tapio Eurola	Jaakko Ihamuotila	Pentti Alajoki	Ilkka Mäkipentti	Norman Westerberg
1968	Uolevi Luoto	Daniel Jäfs	Tapio Eurola	Jaakko Ihamuotila	Pentti Alajoki	Jorma K. Miettinen	Antti Vuorinen
1969	Uolevi Luoto	Daniel Jäfs	Antti Vuorinen	Jaakko Ihamuotila	Jorma K. Miettinen	Kalevi Numminen	Olavi Vapaavuori
1970	Uolevi Luoto	Magnus v. Bonsdorff	Antti Vuorinen	Olavi Vapaavuori	Jorma K. Miettinen	Lasse Nevanlinna	Kalevi Numminen
1971	Anders Palmgren	Magnus v. Bonsdorff	Jaakko Kajamaa	Tapani Graae	Lasse Nevanlinna	Kalevi Numminen	Olavi Vapaavuori
1972	Anders Palmgren	Magnus v. Bonsdorff	Jaakko Kajamaa	Tapani Graae	Juhani Kuusi	Martti Mutru	Lasse Nevanlinna
1973	Anders Palmgren	Erkki Vaara	Jaakko Kajamaa	Tapani Graae	Juhani Kuusi	Jouko Mikkola	Martti Mutru
1974	Erkki Vaara	Martti Mutru	Reino Hyvärinen	Risto Tarjanne	Juhani Kuusi	Paul Laine	Olli Tiainen
1975	Erkki Vaara	Olli Tiainen	Reino Hyvärinen	Risto Tarjanne	Paul Laine	Bjarne Regnell	Eric Rotkirch
1976	Erkki Vaara	Olli Tiainen	Reino Hyvärinen	Launo Tuura	Bjarne Regnell	Eric Rotkirch	Risto Tarjanne
1977	Olli Tiainen	Paavo Holmström	Pekka Hiismäki	Launo Tuura	Ami Rastas	Bjarne Regnell	Eric Rotkirch
1978	Olli Tiainen	Paavo Holmström	Pekka Hiismäki	Launo Tuura	Antero Raade	Ami Rastas	Anneli Salo
1979	Olli Tiainen	Paavo Holmström	Pekka Hiismäki	Jorma Karjala	Antero Raade	Ami Rastas	Anneli Salo
1980	Paavo Holmström	Antero Raade	Aito Ojala	Pekka Louko	Lasse Mattila	Heikki Raumolin	Anneli Salo
1981	Paavo Holmström	Heikki Raumolin	Aito Ojala	Pekka Louko	Lasse Mattila	Alpo Ranta-Maunus	Harry Viheriävaara
1982	Paavo Holmström	Heikki Raumolin	Aito Ojala	Seppo Ruotsalainen	Matti Komsa	Lasse Mattila	Alpo Ranta-Maunus
1983	Heikki Raumolin	Alpo Ranta-Maunus	Leena Katajapuro	Pertti Visuri	Matti Komsa	Kari Törrönen	Harry Viheriävaara
1984	Heikki Raumolin	Matti Komsa	Leena Katajapuro	Esko Tusa	Jukka Laaksonen	Kari Törrönen	Harry Viheriävaara
1985	Heikki Raumolin	Harry Viheriävaara	Leena Katajapuro	Esko Tusa	Erkki Aalto	Jukka Laaksonen	Kari Törrönen
1986	Erkki Aalto	Jukka Laaksonen	Seppo Salmenhaara	Esko Tusa	Antti Hanelius	Ilkka Mikkola	Björn Wahlström
1987	Erkki Aalto	Antti Hanelius	Seppo Salmenhaara	Jorma Aurela	Hannu Koponen	Ilkka Mikkola	Björn Wahlström
1988	Erkki Aalto	Antti Hanelius	Seppo Salmenhaara	Jorma Aurela	Hannu Koponen	Ilkka Mikkola	Björn Wahlström
1989	Ilkka Mikkola	Rainer Salomaa	Hannu Hänninen	Jorma Aurela	Klaus Kilpi	Hannu Koponen	Jorma Kotro
1990	Ilkka Mikkola	Rainer Salomaa	Anna-Maija Kosonen	Jussi-Pekka Palmu	Leif Blomqvist	Klaus Kilpi	Jorma Kotro
1991	Rainer Salomaa	Klaus Kilpi	Anna-Maija Kosonen	Jussi-Pekka Palmu	Leif Blomqvist	Jorma Kotro	Eero Patrakka

# ATS — perustamisesta aktiiviseen toimintaan

Kutsu Suomen Atomiteknillisen Seuran perustavaan kokoukseen

Kauppa ja teollisuusministeriön nimeämä atomiretkikunta Neuvostoliittoon keskusteli matkan aikana jo aikaisemminkin puheena olleen atomiteknikasta kiinnostuneiden yhdyssiteenä toimivan seuran perustamisesta. Matkan päättäjäiskokouksessa 12.4.66 nimitettiin toimikunta sääntöehdotusta tekemään.

Perustava kokous on 24.5.66 klo 19.00 TPIF:n huoneistossa, Yrjönkatu 30, 6. krs. Kutsumme Teidät tähän perustavaan kokoukseen, jossa käsiteltävän sääntöehdotuksen raakakopio on oheisena.

Komitean puolesta

*Pertti Salminen*

Jakelu:

• P. Alajoki	• P. Jauho	• U. Luoto	• B. Regnell
• N. Björklund	• D. Jäfs	• P. Malaska	• E. Rotkirch
• T. Eurola	• K. Koivisto	• I. Mäkipentti	• K. Salimäki
• S. Hultin	• K. Konttinen	• L. Nevanlinna	• O. Vapaavuori
• V. Immonen	• E. Laurila	• K. Numminen	• N. Westerberg
• A. Jähkölä			



Loviisan Hästholmen ennen ATS:n perustavaa kokousta vuonna 1966. Metsäiselle saarelle oli ensimmäiseksi rakennettava tie, jota varten tehtiin kanas mantereelta. Saarelle johtavan pienen sillan aliitse kulkee nykyisin suosittu huviveneväylä.

## Otteita Seuran perustavan kokouksen pöytäkirjasta.

Pöytäkirja Suomen Atomiteknillisen Seuran, Atomitekniska Sällskapet i Finlandin perustavasta kokouksesta 24.5.66 TPIF:n kerhuhuoneistossa. Liitteessä 1 olevan kutsukirjeen jakelussa mainituista henkilöistä olivat S. Hultinia, E. Laurilaa, I. Mäkipenttiä, O. Vapaavuorta ja N. Westerbergiä lukuunottamatta kaikki läsnä.

1 §

Sääntötoimikunnan puheenjohtaja prof. P. Jauho avasi kokouksen ja lausui läsnäolleet tervetulleiksi.

2 §

Kokouksen puheenjohtajaksi valittiin P. Jauho.

3 §

Kokouksen sihteeriksi valittiin DI K. Numminen ja pöytäkirjan tarkastajiksi TL B. Regnell ja TT T. Eurola.

4 §

Päätettiin seurata oheisena liitteenä 2 olevaa esityslistaa kokouksen kuluksa.

5 §

Todettiin yksimielisesti atomialan seura tarpeelliseksi ja päätettiin perustaa yhdistys nimeltä: Suomen Atomiteknillinen Seura, Atomitekniska Sällskapet i Finland.

6 §

Alettiin käydä yksityiskohtaisesti läpi sääntökomitean ehdotusta yhdistyksen säännöiksi. Ehdotus hyväksyttiin seuraavin periaatemutoksin (pienemmistöä sanamuotomuutoksia ei tähän pöytäkirjaan ole merkitty, sääntöjen uusi muoto on liitteenä 3).

- 3 § "edistää julkaisu toimintaa" muutettiin muotoon "harjoittaa julkaisu toimintaa".

11 §

Sihteerin palkkioksi päätettiin 300 mk/v ja rahastonhoitajan 200 mk/v.

12 §

Seuran ensimmäisenä toimintamuotona suunniteltiin excursion järjestämistä Essissä 8...14 syyskuuta pidettäville Nuclex messuille.

13 §

Julkaisu toiminnan alalla johtokunta tutkii mahdollisia toimintamuotoja, esim. Sähkö-lehden toimittajakuntaan liittymistä.

14 §

Liitteenä No 4 on puheenjohtajan kirjoittama teksti lehdistölle seuran perustamisesta.

15 §

Seuran perustaviksi jäseniksi päätettiin kirjata seuraavat:

DI P. Alajoki	TL U. Luoto
DI N. Björklund	TT P. Malaska
TT T. Eurola	x DI I. Mäkipentti
x DI S. Hultin	DI L. Nevanlinna
prof. V. Immonen	DI K. Numminen
DI A. Jähkölä	TL B. Regnell
prof. P. Jauho	DI E. Rotkirch
DI D. Jäfs	prof. K. Salimäki
DI K. Koivisto	x TL O. Vapaavuori
DI K. Konttinen	x DI N. Westerberg
x prof. E. Laurila	x merkityt poisääolevina, mutta erikseen kysyttäessä perustajajäseneksi suostuneina.

Pöytäkirjan vakuudeksi

sihtööri

*K. Numminen*

Pöytäkirjan tarkastajat:

*Jorma Aurela*

*Tajia Eurola*

Atomiteknillinen seura perustettu Suomeen

Useimmissa teollistuneissa maissa on pidetty tarpeellisena tieteellisiä- teknilliseen yhteistoiminnan aikaansaamista ja organisoimista atomitekniiikan alalla perustamalla erityinen seura. Koska atomitekniiikan soveltaminen käytäntöön on meidänkin maassamme nyt ajankohtaista, on vastaavan laatuinen toiminnan aloittaminen katsottu meilläkin välttämättömäksi. Täällä tarkoituksenaan pidettiin Tekniska Föreningen i Finland'in huoneistossa 24.5.1966 kokous, jossa päätettiin perustaa Suomen Atomiteknillinen Seura - Atomitekniska Sällskapet i Finland. Kokouksessa vahvistettiin seuran säännöt ja valittiin johtokunta sekä toimihenkilöt. Johtokunnan puheenjohtajaksi valittiin prof. P. Jaaho sekä jäseniksi dipl.ins. P. Alajoki, tekn.lis. B. Luoto (varapuh.joh.), dipl.ins. I. Hakkipentti, sekä dipl.ins. N. Westerberg. Seuran sihteeri on dipl.ins. E. Numminen ja rahastonhoitajana tekn.tri P. Borela. Perustavassa kokouksessa oli läsnä rajoitettu joukko alasta kiinnostuneita tieteiden ja tekniikan edustajia. Seuran jäsenmäärää on tarkoitus välttämättä lisätä sisältämaan kaikki alasta kiinnostuneet ammattihenkilöt.

Atomitekniiikka on tyypillinen nk. poikkiteieteellinen tekniikan ala, jossa näytellävät tärkein osana pitävät puhtaat teknilliset alat kuten reaktortekniikka, reaktorifysiikka, metallurgia, metallioppi, kone-tekniikka, säätötekniikka, höyrytekniikka, sähkötekniikka ja rakennustekniikka myös useat tavallisesti yliopistojen piiriin kuuluvat tieteenalat kuten ydinfysiikka, radiokemia, satelliittiteknologia ja radiobiologia. Seuran tarkoituksena on edistää näiden alojen tuntemusta ja kehitystä maassamme ottamalla erikoisesti huomioon atomitekniiikan erikoisvaatimukset sekä energiantuotantoa että iso-

tooppien soveltamista teollisuuteen silmälläpitäen.

Seuran tarkoituksena on myös toimia yhdyskseenä jäsentensä kesken kokousten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi. Tämä toiminnan puoli on varsinkin ensimmäisten atomivoimalaitosten rakentamisen sekä käytön antaminen useilta sellaisilta tekniikan aloilta, jotka vain sivuavat atomien energian sovelluruksia. Tällaista koulutustarvetta esiintyy sekä korkeakoulu- että alemmalla teknillisen koulutuksen tasolla.

Seuran tarkoituksena on seurata alan kehitystä myös olemalla yhteydessä ulkomaisiin vastaaviin seuroihin ja kansainvälisiin järjestöihin. Vain näin voidaan nopeasti tapahtuva teknillisen tiedon leviäminen maamme taatu.

Tarkoituksenaan seura pyrkii toteuttamaan järjestämällä kokous-, esitelmä- ja kursaitilaisuuksia sekä tukemalla ja harjoittamalla alan julkatoimintaa suomen ja ruotsin kielellä. Seura voi myös tehdä aloitteita ja antaa neuvoja viranomaisille sen toimialaan kuuluvista kysymyksistä. Tärkeinä tulien ollen tarpeellisuus on jo nykyisenkin kokemuksen perusteella osoittautunut ilmeiseksi.

Koska ensimmäisen atomivoimalaitoksen rakennustöiden tulisi alkaa aikvan lähitulevaisuudessa on seuran toiminnan aloittamisella kiire. Nykyisten arvioiden mukaan tulee atomivoimalaitosten rakentaminen 1970-luvulla vaatimaan 5000-10000 työntekijää ja sitomaan pääomia noin 1 miljardia markkaa kymmenvuotiskautena. Seuran toiminnan eräänä tärkeänä tehtävänä on huolehtia siitä, että mahdollisimman ammattitaitoinen henkilökunta huolehtii atomivoimalaitosten rakentamisesta ja käytöstä sekä että mahdollisimman suureksi osaksi sijoitustarpeita voidaan suunnata kotimaisille toimittajille.

Suomen Atomiteknillisen Seuran toimintakertomus vuodelta 1966.

Vuosi oli seuran perustamisvuosi. Kaikkia seuran perustajia ei ollut mahdollisuuksien puolesta ollutkaan EIP-reaktorin rakentamisen yhteydessä teollisuuden ja korkeakoulun edustajien kesken. Kokouksien syyksensä seur on aikajänneille antavat neuvottelet. Josi o juttin eri osapuolia lausutti esautteonek esateemaksi Orskil Laurilan (ohjella Neuvostoliitossa työneen) atomitekniiikan alan aikoina toimintansa. Seuran puolesta esitelmässä ravitteli Kari Järven 10.4.1966, päätettiin lopullisesti seuran perustamisesta ja valittiin komitea laatimaan esitelmän puolesta ja aikajänneen varillista, perustaja ja esitelmän Kinnian puolesta puolesta esitelmän puolesta. Seuran puolesta esitelmän puolesta prof. Jaaho ja jäseniksi tekn. lis. G. Vapaavuori, DI. B. Järvi ja sihteeri DI. E. Numminen.

Perustava kokous pidettiin 24.5.1966, osallistujia päätettiin jättää rekisteröitäväksi ja perustava kokous pidettiin 24.5.1966. Jäseniksi valittiin P. Alajoki, N. Borela, T. Hakkipentti, V. Hakkipentti, A. Järvi, P. Jaaho, B. Järvi, K. Kivimäki, K. Korhonen, E. Laurila, B. Luoto, P. Mäkelä, I. Hakkipentti, I. Neuvonen, K. Numminen, P. Borela, A. Borela, K. Järvi, G. Vapaavuori, N. Westerberg.

Seuran ensimmäiseksi johtokunnaksi valittiin puheenjoht. prof. P. Jaaho, varapj. DI. G. Luoto, jäsenet DI. P. Alajoki, DI. I. Hakkipentti, DI. K. Westerberg, rahastonhoitaj. TI. T. Borela ja sihteeri DI. E. Numminen.

Perustamisvuonna seuran tärkein tehtävä on ollut saantien julkaisun hyväksyttäväksi neuvottelet, joka tapaan 11.11.1966. Jäsenkoko on nykyään kasvanut siten, että sen jäsenkoko on kasvanut kertonvuoden lopussa oli 40. K toimintansa jäseninä liittyivät seuran seuraavat yhteisöt A. Aniström Oy, Suomen Atomiteknillisen Seuran ja insinööriyhteisö Terästalon Oy, Oy Teollisuuslaboratorit Oy, Suomen Voima Oy, Oy Asea, Oy Stal-Laval Ab, Oy Aaram Ab, Yhteisö Oy, Sähköteknisten Oy, Geste Oy, Heima Paperi Oy, Helsingin Oy, Suomen Sähkö Oy.

Seura järjesti syyskuussa 1966 yhteismatkan alan kansainväliseen näytelyyn ja kongressiin "Nucler" Esseniin. K:lle osallistui 16 seuran jäsentä ja ulkopuolista.

Seuran sisäisiä puolesta kolme kokousta. Kaikkia ohjelmassa olivat seuraavat esitelmät:

- N. Williams: Some Design considerations for a heavy water reactor.
- E. Kornblöhler: Siedewasserreaktor und seine sicherheitstechnischen Aspekte.
- M. Bonanni: Pressurized Water reactors, their design aspects and instrumentation.
- K. Owen: Pressurized Water reactors, their design aspects and instrumentation.
- B. Caslake: tallon.

Kokouksien on osallistunut keskimäärin 30 seuran jäsentä. Julkaisutoiminta pantin aialle siten, että yhdessä Teknillisen Aikakauslehdin edustajain kanssa perustettiin julkaisukomitea, jonka tehtävänä on toimittaa Teknillisen Aikakauslehdin atomitekniiikan erikoisnumero.

Seuran johtokunta on pitänyt 5 virallista kokousta. Seuran taseet osoittavat tilivuodelta n. 100 markan voittoa ja seuran katevarat, johtuen etukäteen maksettavista kunnattarien jäsenten vuosimaksuista olivat vuoden vaihteessa n. 3300 mk.

Helsingissä helmikuun 14 p:nä 1967

pub.johd. P. Jaaho      sihte. E. Numminen



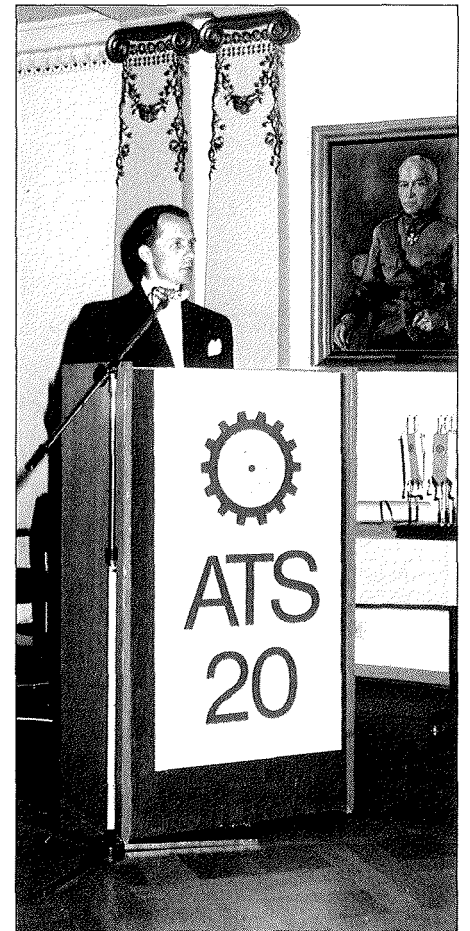
Vuonna 1973 oltiin rakennustyöt jo aloitettu Olkiluodossa. Kuvassa metsästä puhtaaksi raivat- tu rakennusalue.



Kokoukset ja seminaarit ovat ATS:n keskeinen jäsenille suunnattu toimintamuoto. "Uraani Halkeaa" seminaari vuonna 1989 keräsi runsaan joukon Seuran jäseniä tiedekeskus Heurekaan.



ATS:n syntymäpäivää on tullut tavaksi juhlia 5 vuoden välein. Klaus Kilpi lauloi soolon Seuran täyttäessä 15 vuotta. Hän on ollut ATS:n edustaja European Nuclear Societyn (ENS) johtokunnassa vuodesta 1984 lähtien ja on myös ATS:n pitkäaikainen kansainvälisten asiain sihteeri.



Seuran 20-vuotisjuhlassa juhlapuheen piti Anders Palmgren.

VALTIONEUVOSTOLLE

Talouselämäkin suotuisan kehityksen erään perusedellytyksenä on riittävä, luotettava ja taloudellinen energian saanti. Atomienergian käyttöönnotto maassamme, jolla ei ole osia kiviniili- eikä öljyvaroja ja jonka taloudellisesti rakennettavissa olevat vesivoimavarat ovat jo <sup>laskettu</sup> valjastetut, tulisin koitunnaa energiataloudelle suureksi eduksi. Tätä käsitystä tukevat kauppa- ja teollisuusministeriön vuonna 19 <sup>Yhtiömuotoisena</sup> asettaman Atomienergiakomitean ja sitä seuranneen komitean suositukset sekä energian tuottajien taholla suoritetut tutkimukset ja viimeksi Inatran Voima Oy:n Hallintoneuvoston 15 p:nä helmikuuta 1966 tekemä päätös perustaa yhtiön tuleva (energiatuotanto atomivoimaa. Tässä mielessä Suomessa Atomitekniillinen Seura ry katsoo, että Inatran Voima Oy:n yhtiökokouksen p:nä huhtikuuta Valtioneuvoston suositukseen perustella tekemä päätös luopua atomivoimalaitoksen rakentamisesta vuoden 1960 lopussa saatujen tarjousten perusteella on ratkaisemattaksi heikentänyt maamme energiatalouden tuotantokapasiteettia. Vaikuttaa energiataloudelliseen kokonaisohjelmaan.

NIVAMINEN

1. Inatran Voima Oy:n saamat ydinvoimalatarjoukset osoittavat, että energian suurituotannon perustamiseen kustannuksiltaan tavanomaista höyryvoimaa vastaavaan ratkaisuun johtaisi suuruusluokkaa 0,3 p/kWh kaksikapasiteettia lisäävä energian tuotantokustannukseen kuin atomivoiman käyttö. Tässä aiheutuisi sähköä kuluttajille noin 7,5 milj. markan vuotuinen tappio.

2. Sähköenergian tuotantokustannusten alentaminen samalle tasolle, jolla ne ovat Suomen kanssa taloudellisesti kilpailivissa maissa, johtaisi maamme kilpailuedellytysten parantamiseen ja avaisi liekeksi kokonaan uusia kehitysnäkymiä erikoisesti huomattavia energiankärrin vaativan kemiallisen ja sähkömetallurgisen teollisuuden piirissä.

3. Atomienergian käyttöä johtaa tavanomaista lämpövoimaa korkeampaan energiahullon onvaraisuusteeseen. Ydinpolttolaitteiden saannin varmistaminen sopimuksin sekä kuljetusten yksinkertaisuus takaavat suuremman riippumattomuuden ulkomaisista polttoainetoimiluksista. Samalla vesivoiman omaa teknologista <sup>vaikuttavuutta</sup> edellyttävää säävuttä <sup>suuremman</sup> täydellinen kriisivalmius sähköenergian tuotannossa.

4. Atomienergian käyttöön siirtyminen merkitsee metalliteollisuudelleme paitei välittömiä toimitustilaisuuksia erikoisesti mahdollisuutta uusien aluevaltuuksiin. On yleisesti havaittu, että tekniikan uusien sovellutusten piirissä suositettu työ indusoi tuotantoa muilla aloilla. Sen tukeminen on siten sekä idässä että lännessä todettu taloudellisen kasvun teknillisten edellytysten luomisen kannalta keskeiseksi tehtäväksi.

5. Energiataloudellisen kokonaisohjelman puute on nähtävissä esimerkiksi siitä, ettei maassamme ole omistuttu luomaan uudenlaisen tekniikan kehitykselle sellaisia edellytyksiä, jotka rohkaisisivat piin-

malle koulutettuja tiedemiehiä ja insinöörejä työskentelemään kotimaassa.

6. Ydinvoimalaitokset voidaan nykyisen sijoittaa sähkön kulutuskeskusten välittömään läheisyyteen. Vesivoimaan nähden päätään paitsi alenpiä energian siirtokustannuksia myös sähkön toimituksen luotettavuuden lisääntymiseen energian tuotannon ja kulutuksen alueellisesti tasapainoitteessa. Tavanomaiseen lämpövoimaan nähden polttoaineen kuljetus on yksinkertaisista eikä kaupunkimiljööstä ruumstavia hiilen tai öljyn varastoalueita tarvita. Lisäksi vältytään savun kaasujen tuhka- ja rikkidioksidipitoisuuden aiheuttamilta terveydellisiltä ja alueellisilta vahingoilta. *luovutus*

7. Ydinvoimalaitoksen tuottaman plutoniumin strateginen merkitys on hyvin vähäinen. Valmistuessaan maamme ensimmäinen ydinvoimala olisi edustanut noin yhtä promillea maailman plutoniumin tuotannossa. Plutoniumin nykyinen hintakehitys osoittaa ettei sen erottaminen kätetytystä polttoaineesta kaikkien laitojen kohdalla olisi edes taloudellisesti kannattavaa.

8. Sähköntuotantokapasiteettimme ei tällä hetkellä sieällä juuri lainkaan reservikapasiteettia vähävetisien vuosien varalle. Mikäli alkava vuosi olisi niin ~~halpa~~ vähävetinen, että se vastaisi 10%:n todennäköisyydellä esiintyvää kuivaa vuotta, olisi lämpövoimalaitoksilla vuoden aikana kehitettävä noin 5,0 miljardia kWh sähköä. Maamme tähänhetkiseksi, noin 770 MW:n lämpövoimalaitoskapasiteetilla kehitettynä tämä merkitäisi 6500 tunnin vuotuista käyttöaikaa, jota pitempään ~~kuivien~~ vesivoimien johdosta seloneet lämpövoimalaitokset tuskin pystyisivät.

Lisäenergian tarve on maassamme vuoden 1971 lopussa nennessä seuraava vuotuinen kasvu	5%	3,9 miljardia kWh
" "	8%	6,6 " "
" "	10%	8,5 " "

joista ydinvoimala olisi tuottanut noin 2,5 miljardia kWh. Jos ydinvoimale jätetään rakentamatta, on maassamme joka tapauksessa tehtävä suuren määrän termisiä suurvoimalaitoksia, sillä vesivoimaa ei voida täyttää ylivoimasta energiantarpeesta kuin pieni osa.

Edellisen perusteella Suomen Atomitekniillinen Seura ry esittää kunnioittain, että

Valtioneuvosto välittömästi ryhtyisi toimenpiteisiin sellaisen energiataloudellisen kokonaisohjelman laatiniseksi, joka 5-10 vuoden tähtäimellä määrittelisi sauntauviivat maamme energiatauottajien toiminnalle. Ohjelman tulisi rakentua mahdollisimman taloudelliseen ja luotettavaan energian tuotantoon johtavalle vaihtoendolle ja samalla huomioida teollisuuspoliittiset näkökohdat.

Suomen Atomitekniillisen Seuran käsityksen mukaan ohjelman laattinen tulisi antaa <sup>in</sup> tehtäväksi.



ATS osallistuu sääntöjensä mukaisesti maassamme käytävään energiataloudelliseen keskusteluun. Seura luovutti professori Jauhon johdolla pääministeri Paasilolle ensimmäisen ydinvoimaan kantavaa ottavan kirjelmän 14.4.1967. Kuvassa on kirjelmän luonnos.

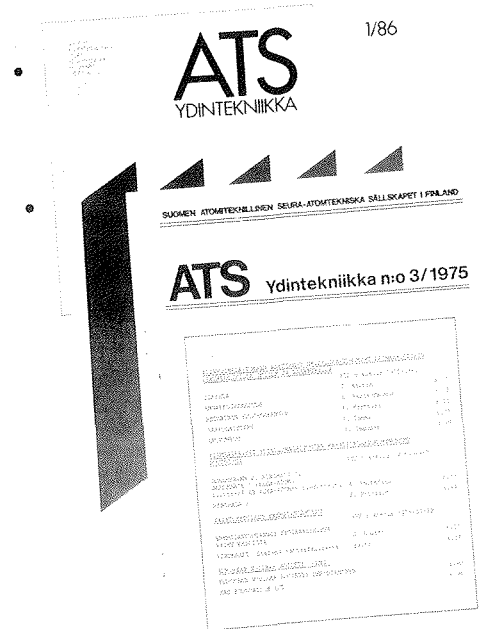
Toistaiseksi viimeinen ATS:n lausunto käsitteli ydinvoiman mahdollisuuksia torjua ilmastomuutosta. Lausunto luovutettiin pääministeri Holkerille 18.10.1990.



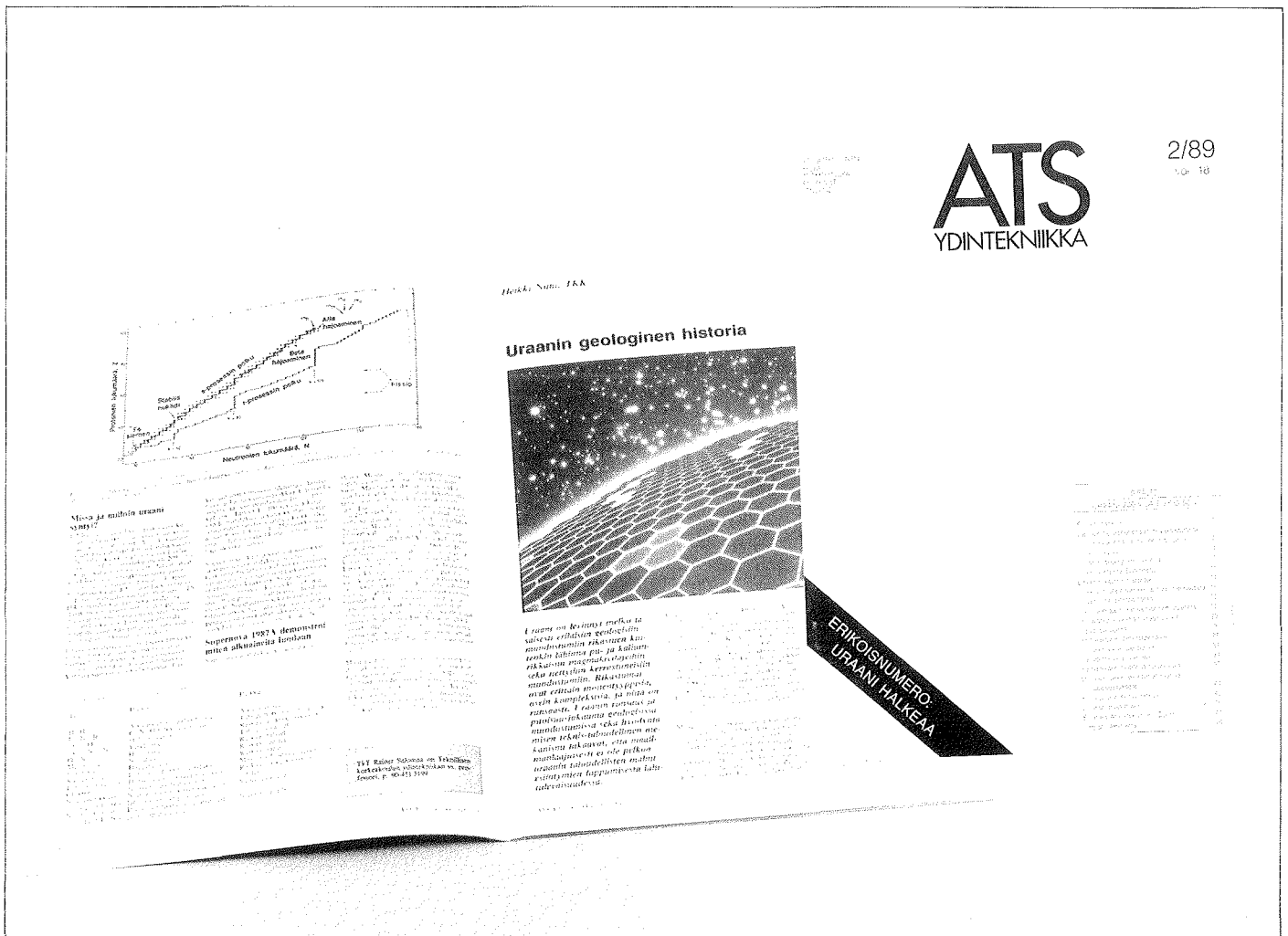
## ATS YDINTEKNIikka 1972—1991

Päätoimittajat	Tapani Graae	1972—1973
	Risto Tarjanne	1974—1975
	Lasse Mattila	1976—1979
	Heikki Reijonen	1980—1984
	Mikko Kara	1985—1987
	Heikki Raumolin	1988—
Toimitussihteerit	Jorma Karjala	1977—1978
	Matti Hannus	1979
	Launo Tuura	1979—1986
	Pertti Salminen	1986—
Erikoistoimittajat	Lasse Mattila	1980—1983
	Mikko Kara	1980—1984
	Klaus Sjöblom	1984—1989
	Ahti Toivola	1985—1987
	Osmo Kaipainen	1988—
	Jorma Aurela	1990—
	Kirsti Tossavainen	1990—
Tapahtuneet muutokset ulkoasussa	ATS-Tiedotuslehti	1/72
	ATS Ydintekniikka	3/75
	Ulkoasu	1/86

ATS Tiedotuslehti n:o 1/1972



ATS YDINTEKNIikka 2/89



Samalla kun ATS täyttää 25 vuotta, täyttää tämä Seuran lehti ATS Ydintekniikka 20 vuotta. Lehti on ilmestynyt neljänä numerona vuodessa vuodesta 1973 lähtien. Aloituvuonna 1972 ilmestyi vain yksi numero. Lehden nimi muutettiin vuonna 1975 ja ulkoasu vuonna 1986 nykyisiksi. Alakuvassa on "Uraani Halkeaa" tilaisuutta varten tehty erikoisnumero, jonka painos oli 12000 normaalipainoksen ollessa 900. Lehden rahoitukseen osallistuu ATS:n ohella Suomen Akatemia.



## Kavala ydinvoima

### KAVALA YDINVOIMA

Kukapa meistä haluaisi atomipommin kotikaupunkiinsa. Juuri tällaisena räjähtävänä pommina monet ydinenergian vastustajat pitävät atomivoimaa. Mutta onko asia näin?

Maailma tuli tietoiseksi ydinvoimasta ja sen voimakkuudesta ensimmäisen kerran silloin, kun amerikkalaiset pudottivat atomipommin Hirošimaan 35 vuotta sitten. Sen jälkeen alettiin kehittää energiaa tuottavia atomivoimalaitoksia. Suomessa niitä ydinvoimaloita on kahdessa paikassa, Loviisassa ja Olkiluodossa, kaksi kummassakin.

Usein oudot asiat kammottavat ihmisiä ja niin juuri on ydinvoimankin laita. Tietysti sillä on haittapuolia, mutta esimerkiksi niinkin "turvallinen" tapa kuin halkolämmitys voisi johtaa ennen pitkää suuriin ongelmiin. Jos kaikki Helsingin kokoisen kaupungin talot lämmitettäisiin haloilla, koko kaupunki peittyisi sakeaan savuun. Nykyään on myös tuki turpeen polttamisesta syntyvää savua, ja havaittu sen sisältävän muun muassa syöpää aiheuttavia kaasuja.

Maaperän uusiutumattomat luonnonvarat kuten hiili ja öljy eivät riitä loputtomiin. On oltava joku muu ratkaisu. Aurinkoenergia olisi hyvä ajatus, mutta se ei oikein sovellu "kylmään" Suomeen. Täällä ei ole tarpeeksi aurinkoista.

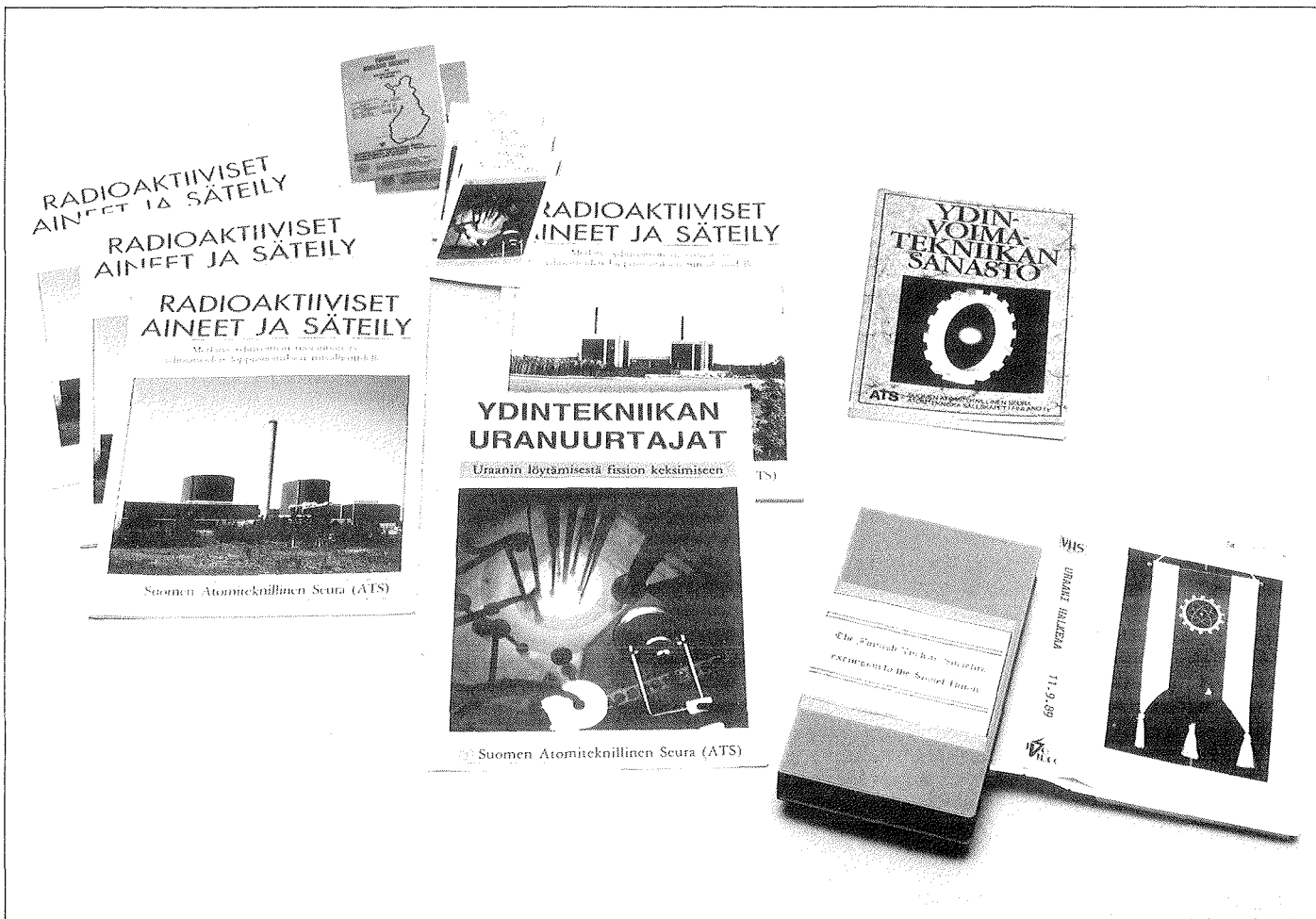
Ydinvoima on huolellisesti käytettynä hyvä asia. Usein talouskilpailu onkin sen pahin vastustaja. Kun yritetään pienentää kustannuksia, aletaan tinkiä turvallisuudesta. Näin luultavasti kävi Harrisburgin tapauksessakin. Onnettomuuden tapahduttua joku tietämätön raukka sanoi: "Mitä hyötyä on edes rakentaa atomivoimaloita. Meillä ainakin sähkö tulee pistorasiasta." Toisena haittana on radioaktiivisen jätteen pitkäaikaissäilytys. Sitä tulee kyllä niin vähän, että ainakaan vielä ei sen kohdalla ole suuria ongelmia.

Atomivoimaa käytetään myös lääketieteellisiin tarkoituksiin. Säteihoidon avulla voidaan tuhota syöpäsoluja. Ydinenergiaa voidaan siis käyttää sotilaallisiin tarkoituksiin, mutta myös ihmiskunnan hyödyksi.

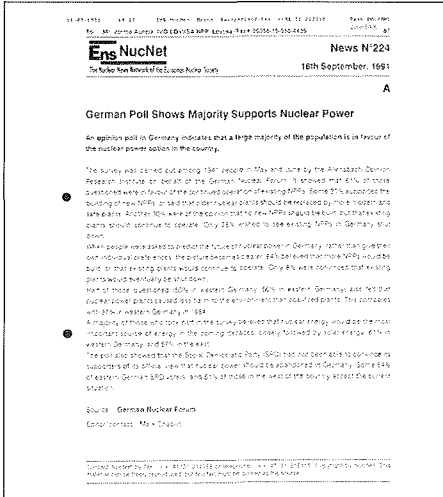
Hanna Kuusi (ikä 14 v.)

(Normaali ei valmisteltu kouluaine oppilaille annetusta otsakosta peruskouluun 9. luokalla)

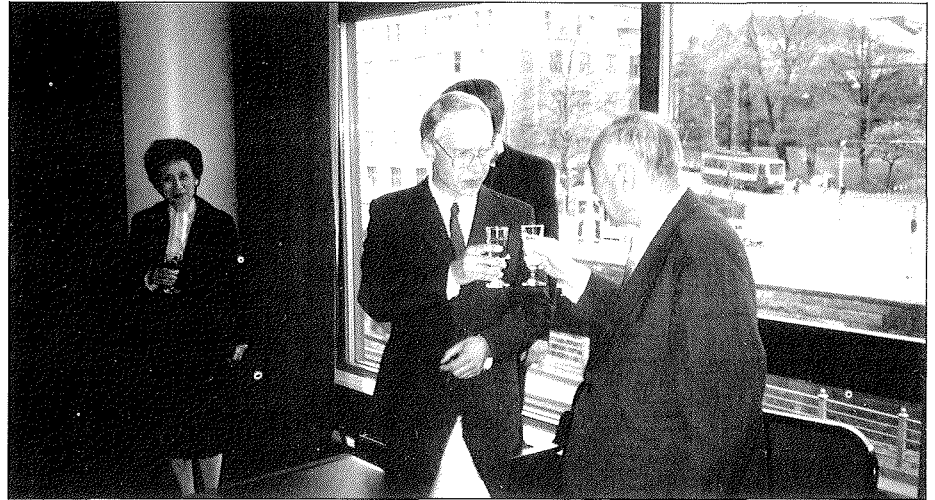
Valveutunut koululainen pääsi lehden sivuille ansiokkaalla aineellaan numerossa 3/80.



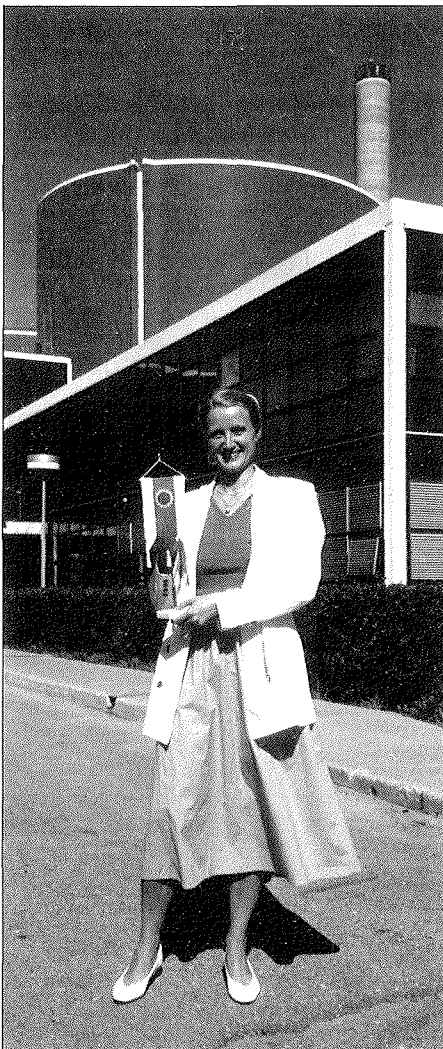
ATS:n tärkeä tehtävä on tuottaa informaatiomateriaalia niin jäsenilleen kuin suurelle yleisöllekin. Tehtävästä vastaa ATS-Info, jonka monivuotinen puheenjohtaja on Antti Hanelius. ATS-Info järjestää myös mm. koulutustilaisuuksia lehtimiehille ja valmistelee ATS:n kannanottoja.



*European Nuclear Societyn (ENS) vuoden 1991 alusta käynnistämästä NucNet-tietopalvelusta saa nopeasti, jopa muutamassa tunnissa tietoa maailman ydinenergia-alan uutistapahtumista.*



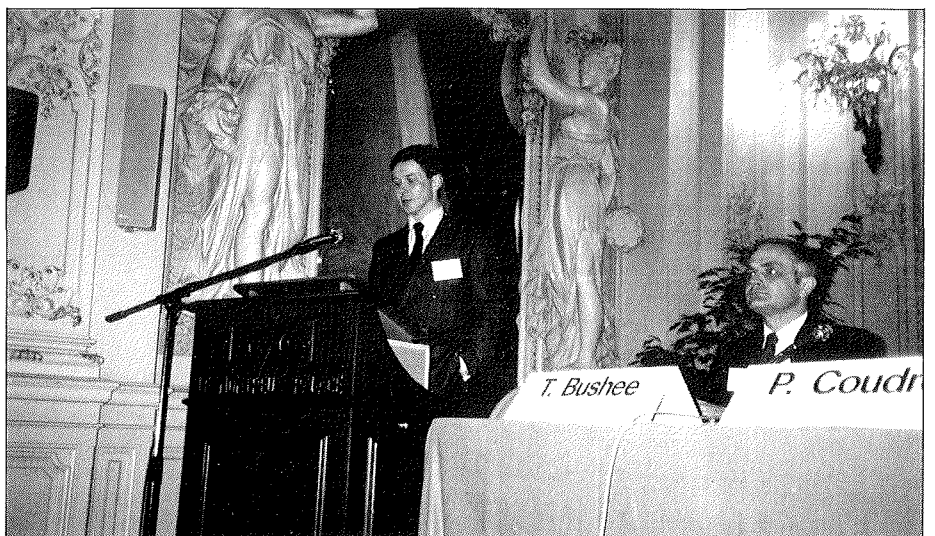
*ATS teki yhteistyösopimuksen Kiinan Ydintutkimusseuran kanssa 1.6.1987 Helsingissä. Kuvassa Kiinan seuran puheenjohtaja Jiang Shengjie ja ATS puheenjohtaja Erkki Aalto kohottavat maljoja onnistuneen allekirjoituksen johdosta. Taustalla tilannetta seuraa Kiinan suurlähettiläs Lin Aili.*



*Ruotsin Föreningen Kärntekniken (FK) on suomalaisten luonnollinen yhteistyökumppani eurooppalaisella ydinyhteistyöfoorumilla. Kuvassa FK:n Agneta Rising Suomen vierailulla. Yleensä FK:n naiset on harvinaisuus ydintekniikan alalla. ATS:n yhteyteen onkin perustettu Energiakanava-työryhmä, jonka tavoite on energiatietämyksen lisääminen erityisesti naisten keskuudessa sekä ydintekniikasta ja energia-asioista puhuminen kansantajuisesti. Energiakanavan puheenjohtaja on Lena Hansson.*



*ATS teki yhteistyösopimuksen myös Neuvostoliiton Ydinteknisen Seuran kanssa 19.3.1991 Vantaalla. Kuvassa sopimusta allekirjoittavat vasemmalta ATS:n sihteeri Jussi Palmu, Neuvostoliiton Seuran puheenjohtaja Victor Orlov ja ATS:n puheenjohtaja Rainer Salomaa.*



*Public Information Materials Exchange (PIME) kokoukset alkoivat suomalaisten aloitteesta ENS:n järjestämänä vuonna 1988, jolloin puheenjohtajana toimi Anders Palmgren. Sen jälkeen on kokousten puheenjohtajana toiminut vuosina 1989 ja 1991 ATS:n kansainvälisen toiminnan veturi Juhani Santaholma. Seuraava PIME-kokous järjestetään tammikuussa 1992. Kokouksista on muodostunut ydinalan informaation keskeinen foorumi.*



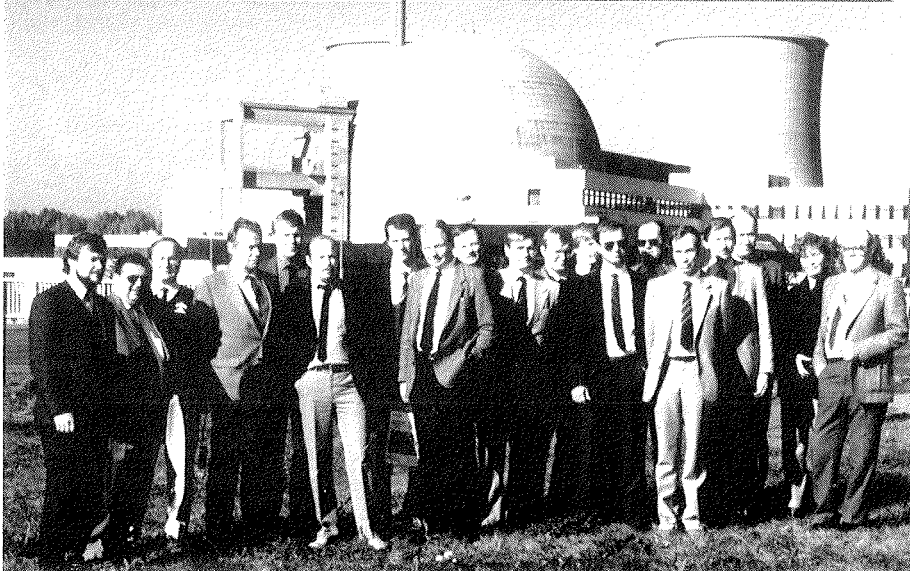
*Kansainvälisen toiminnan näkyvin osa ovat vuosittaiset ekskursionit ulkomaille. Ekskursioita ylhäältä alas tuoreimmasta päästä Kiina 1986, Ranska 1987, Japani 1988 ja Yhdysvallat 1984.*



**ATS:n opintomatkojen ketju lähes katkeamaton**

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

- 1966 Nuclex
- 1967 —
- 1968 Tanska
- 1969 Nuclex
- 1970 —
- 1971 Neuvostoliitto
- 1972 Ruotsi
- 1973 Ruotsi ja Tanska
- 1974 Saksan liittotasavalta
- 1975 Nuclex
- 1976 Englanti ja Belgia
- 1977 Ranska
- 1978 Nuclex
- 1979 Neuvostoliitto (Leningrad)
- 1980 Japani
- 1981 Nuclex, Ranska ja Espanja
- 1982 Unkari ja Italia
- 1983 Neuvostoliitto
- 1984 USA
- 1985 Tsekkoslovakia ja SLT
- 1986 Kiina
- 1987 Ranska
- 1988 Japani
- 1989 Englanti
- 1990 Neuvostoliitto
- 1991 Espanja







## ATS — ukkoutuvan alan johtotähtikö?

*ATS:n toiminnan jatkuvuutta ajatellen olisi tärkeää hankkia seuraan paljon uusia, nuoria jäseniä. Tässä pyrkimyksessä opiskelijoille suuntautuvalla tiedotuksella voisi olla suuri merkitys. ATS tarjoaa nuorelle jäsenelle avartavia ja yleissivistäviä esitelmätilaisuuksia, ihmiskontakteja ja mahdollisuudet kansainväliseen toimintaan.*

Suomen Atomiteknillisen Seuran kokouksissa on selvästi havaittavissa, että osallistujien keski-ikä on varsin korkea. Vastavalmistuneet ja korkeakouluopiskelijat loistavat poissaolollaan. Syitä tähän on varmasti useita, kuten että ala ei erityisemmin kiinnosta korkeakouluopiskelijoita, tai että nuoria ei riittävän tehokkaasti informoida seuran toiminnasta. On myös mahdollista, että ihmiset yhä enemmän haluavat pitää työnsä erillään vapaa-ajastaan. Illalla lähdetään mieluummin harrastamaan jotain rentouttavaa kuin miettimään 'työasioita' ATS:n kokoukseen.

Seuran toiminnan jatkuvuutta ajatellen olisi kuitenkin tärkeää saada nuoriakin mukaan. Alalla pitkään mukana olleiden kokemusta ja tietämystä ei tietenkään korvaa mikään, mutta nuoret voisivat tuoda mukanaan uusia toimintaideoita ja erilaisen ajattelutavan. Vanhempaan polveen kuuluvat ATS:n jäsenet ovat sananmukaisesti rakentaneet nykyiset laitokset, ja sellaista vankkaa osaamista ei lyhyen aikaa alalla toimineella henkilöllä ole. Kuitenkin, nuorilla saattaa olla innostusta, näyttämisen halua, energiaa ja ennen kaikkea sellainen suhtautuminen ydinvoimaan josta ATS voisi hyötyä.

### **Ydinvoima-alaa pidetään epävarmana**

Seuraavaksi aion esittää henkilökohtaisia huomioita jäseneksi liittymisestä, toimintaan osallistumisesta ja tulevasta toiminnasta.

Liityin Suomen Atomiteknilliseen Seuraan vuonna 1990 aloitettuani diplomi-työntekijänä Imatran Voiman ydinvoimatekniikan osastolla. Liittymiseni oli tarmokkaan värväyksen tulos — aiemmin en edes tiennyt ATS-nimisen seuran olemassaolosta.



*Nuorilla on ollut suuremmat mahdollisuudet osallistua kotimaan ekskursioille kuin ulkomaan ekskursioille. Ryhmäkuvaa on otettu keväällä 1991 Ruotsiin suuntautuneelta "kotimaan" ekskursiolta. Oppia saadaan todellisiin kohteisiin tutustumalla, sillä tämäkin kuva on otettu Forsmarkin ydinjätetuolassa.*

Uusien jäsenten värväys on mielestäni kaksitahoinen ongelma. Toisaalta alan yrityksissä, tutkimuslaitoksissa ja korkeakouluissa on tietty 'reservi' nuoria ihmisiä, jotka mitä ilmeisemmin ovat alasta kiinnostuneita, mutta eivät vielä kuulu ATS:aan. Tämä siksi, että on vaikea ymmärtää liittyä seuraan, jonka toiminnasta ei tiedä mitään. Nämä saataisiin mukaan toimintaan jos ATS:n nykyiset jäsenet aktiivisemmin kertoisivat seurasta ja jopa toimittaisivat potentiaaliselle jäsenelle jäsenehdotuslomakkeen. Myös korkeakouluopiskelijat voivat uusien sääntöjen mukaan liittyä seuraan ns. nuoriksi jäseniksi, joilla on alennettu jäsenmaksu.

Toisaalta, jos katsotaan nuorten jäsenten värväysongelmaa laajemmin voidaan todeta, että ydinvoima-alaa pidetään nuorten keskuudessa epävarmana. Tämä on mielestäni selvästi havaittavissa korkeakoulussa syventymiskohteen valinnan yhteydessä. Hyvin harvat ryhtyvät lukemaan ydintekniikkaa ydinvoima-alan uraa silmällä pitäen. Kuvitellaan, että jos viidettä reaktoria ei rakenneta, jäädytään työttömäksi tai koulutus menee hukkaan. Jälkeenpäin ajateltuna sellainen käsitys tuntuu varsin liiotellulta — onhan meillä joka tapauksessa vielä pitkään neljä toi-

mivaa laitoksikköä, valtava määrä analyysi-, tutkimus- ja selvitystyötä tehtävää ja teknisiä ongelmia ratkaistavana.

Sitä paitsi harva nuori nykyään päättää heti uransa alkuvaiheessa pysyä samalla alalla elämänsä loppuun asti. Mutta ennen kaikkea ydinvoima-ala on uskomattomassa monitahoisuudessaan, vaatavuudessaan ja kansainvälisyydessään kiehtova. Ehkä ATS voisi omalta osaltaan välittää korkeakouluopiskelijoille tietoa siitä mitä kaikkea ala pitää sisällään, ja siten edesauttaa totuudenmukaisemman käsityksen muodostumista. Tehtävä on epäilemättä hankala, mutta mielestäni tärkeä seuran tulevaisuutta ajatellen.

### **ATS:lla nuorillekin paljon annettavaa**

Mikä sitten saa uuden jäsenen osallistumaan ATS:n toimintaan? Itse ryhdyin heti hoitamaan yleissitteerin tehtäviä, joten osallistuminen oli aika itsestäänselvää. Mielestäni on ollut mielenkiintoista käydä seuran esitelmätilaisuuksissa ja osallistua ekskursioihin, vaikka aihe harvemmin sattuu olemaan juuri omalta erikoisalalta. Tuntuu hienolta kun kokonaiskäsitys alasta vähitellen syntyy, ja

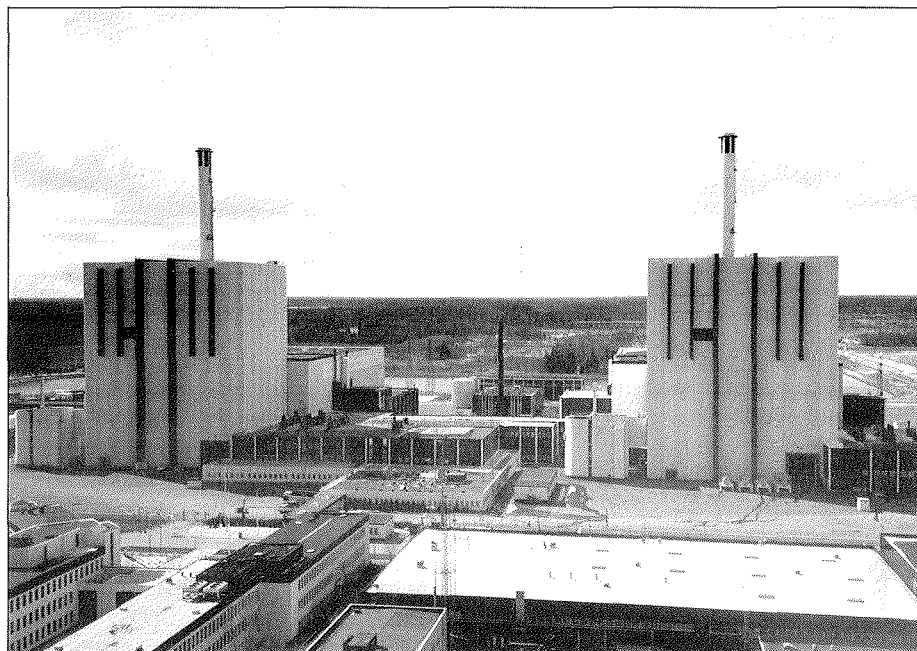
rupeaa ymmärtämään miten omat työtehtävät liittyvät kokonaisuuteen. ATS:n toiminnassa huomaa myös, että energiahuolto yhtä paljon kuin teknillinen haaste on yhteiskunnallinen kysymys, johon 'perusinsinöörimäinen' suhtautuminen ei sovellu. Tätä puolta ei korosteta alan koulutuksessa, joten ATS:n toimintaan osallistumisesta on mielestäni tältä osin aivan konkreettista hyötyä paremman yleissivistyksen myötä. Seuran tilaisuuksissa tutustuu myös ihmisiin paljon laajemmin kuin vain omalla työpaikalla.

Yleisesti ottaen näkisin, että nuoret — niin kuin kaikki muutkin — osallistuvat jos toiminta on laadukasta ja jos he tuntevat voivansa vaikuttaa siihen. Tieteellisen seuran profiilista kannattaa silti pitää kiinni. Tulevaisuudessa pyritään järjestämään erityisiä tilaisuuksia myös seuran nuorille jäsenille, jotta he saisivat mahdollisuuden tutustua toimintaan. Tärkeää tässäkin suhteessa on vanhempien jäsenten käyttäytyminen — jos itse on menossa ATS:n järjestämään tilaisuuteen kannattaa muistuttaa tuntumaansa nuorta jäsentä tapahtumasta.

Koska ATS on European Nuclear Society'n jäsenyys, on seuran kautta mahdollista osallistua kansainväliseen toimintaan. ATS on esimerkiksi mukana järjestämässä opiskelijoiden kesäharjoittelijavaihtoa, joka toimii vastavuoroisuusperiaatteella. Nuoren osallistujan on mahdollista saada konferenssimaksun kattava stipendi joka neljäs vuosi järjestettävään European Nuclear Conferenceen. ATS:n toimintaan kuuluvat vuosittaiset ulkomaanekskursiot. Yhteistyö Ruotsin ja Neuvostoliiton seurojen kanssa on vilkasta.

### Lisärakentamispäätös vilkastuttaa seuran toimintaa

Tulevaisuudessa toivon että ATS:n toiminta jatkuisi vähintään yhtä vilkkaana kuin tähänkin asti. Jatkossakin toimin-



Forsmarkin ydinvoimalaitos on perinteinen Seuran vierailukohde Ruotsissa. Kuvassa yksiköt 1 ja 2. Ruotsin sisarseuran puheenjohtaja Lars Gustafsson oli keväällä 1990 ATS:n isäntänä Forsmarkissa ja Västeråsissa.

nan runkona tulisi olla korkeatasoiset ja ajankohtaiset esitelmätilaisuudet, tasokas oma lehti, merkittäviin ydinvoimamaihin suuntautuvat ekskursiot jne. Voimme myös keksiä uusia toimintamuotoja, mistä vireä Energiakanava-työryhmä on hyvä esimerkki. Nuorille, esim. opiskelijoille suuntautuvassa tiedotuksessa ATS:llä olisi tulevaisuudessa olla näkyvämpi rooli. Esimerkiksi opiskelijoiden järjestämissä eri aloja esittelevissä infotilaisuuksissa ATS:n nuoret edustajat voisivat kertoa ydinvoima-alasta ja seuran toiminnasta.

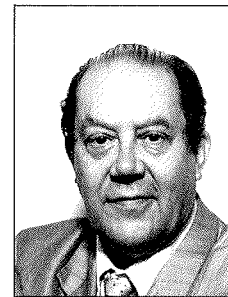
On selvää, että viidennen reaktorin rakentaminen merkittävästi vilkastuttaisi ATS:n toimintaa. Tieteellisenä seurana ATS:n tulee kuitenkin toimia pidemmällä tähtäimellä. Elleivät Suomen teollisuuden

rakenne tai energiatuotantovaihtoehdot merkittävästi muutu, on vaikea uskoa ettei tulevaisuudessa rakennettaisi uusia suuria voimalaitosyksiköitä. Ympäristön kannalta olisi suotavaa, ettei näiden polttoaineena olisi hiili. ATS:n asia on osaltaan toimia siten, että aikanaan on olemassa päteviä uuden ydinvoimalan rakentajia ja käyttäjiä. Kiinnittämättä huomiota nuorten jäsenten hankkimiseen ja toiminnassa mukana pitämiseen ATS ei voi suoriutua tästä tehtävästä. □

DI Petra Lundström toimii Imatran Voima Oy:n ydinvoimatekniikan osastolla suunnitteluinsinöörinä. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1990. Puh. 90-5085422.

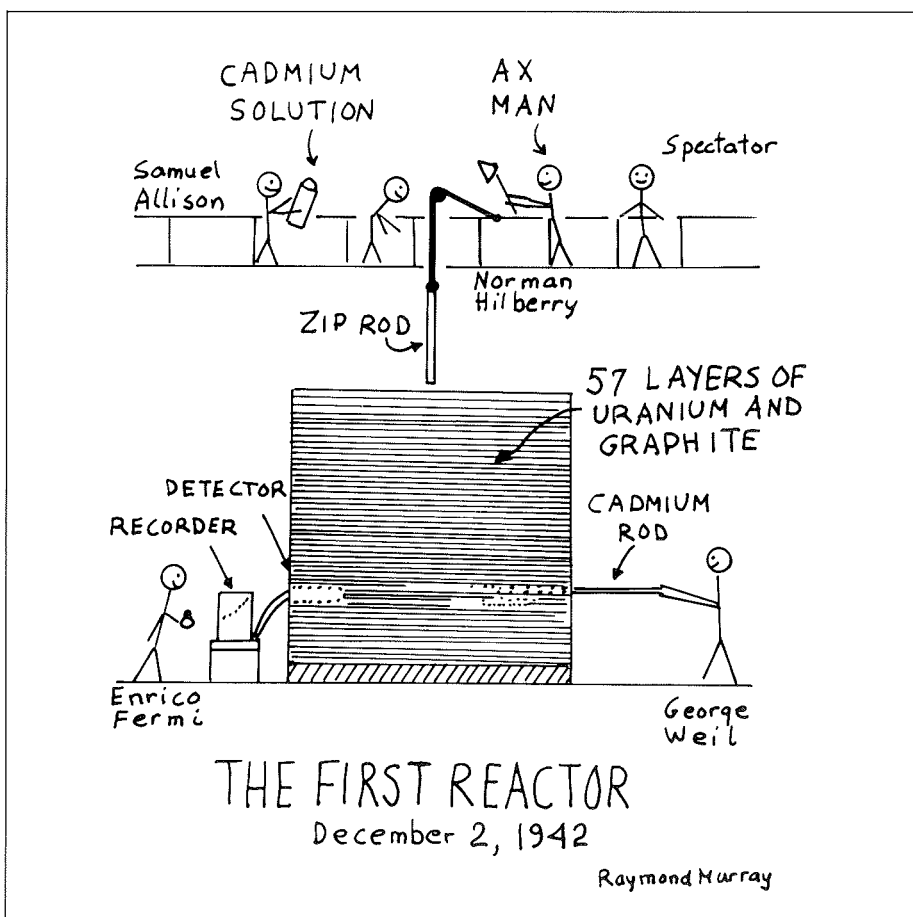
### ATS:n johtokunta ja toimihenkilöt 1991

JOHTOKUNTA		TOIMIHENKILÖT	
Pj. TkT Rainer Salomaa TKK/Teknillisen fysiikan laitos Otakaari 2 02150 Espoo P. 90-4513199	Jäs. DI Leif Blomqvist Säteilyturvakeskus PL 268 00101 Helsinki P. 90-70821	Yleissihteeri DI Petra Lundström Imatran Voima Oy PL 112 01601 Vantaa P. 90-5085422	Ekskursio sihteeri DI Jorma Aurela Imatran Voima Oy PL 23 07901 Loviisa P. 915-5503040
Vpj. DI Klaus Kilpi VTT/Ydinvoimatekniikan laboratorio Lönnrotinkatu 37 00180 Helsinki P. 90-648931	Jäs. DI Jorma Kotro Imatran Voima Oy PI 112 01601 Vantaa P. 90-5082416	Kans.väl.yhteyks.siht. DI Klaus Kilpi VTT/Ydinvoimatekniikan lab. Lönnrotinkatu 37 00180 Helsinki P. 90-648931	ATS-Info puheenjohtaja DI Antti Hanelius Suomen Voimalaitosyhdistys ry. Lönnrotinkatu 4 B 00120 Helsinki P. 90-602944
Rh DI Anna-Maija Kosonen VTT/Metallilaboratorio PL 26 02151 Espoo P. 90-4566858	Jäs. TkL Eero Patrakka Teollisuuden Voima Oy Fredrikinkatu 51—53 B 00100 Helsinki P. 90-60901		
Siht. DI Jussi-Pekka Palmu Imatran Voima Oy PL 112 01601 Vantaa P. 90-5084562			



# Ydintekniikan rauhanomaisen hyödyntämisen kehitys

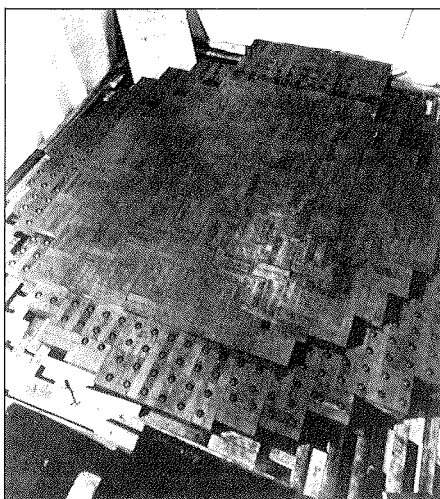
*Ydinteollisuus syntyi Yhdysvaltoihin vuosina 1940–45 atomipommi-projektin kautta. Samalla luotiin perusta myös ydinteknologian rauhanomaiselle hyödyntämiselle: uranikaivosteollisuus, uranin rikastuslaitokset, ydinreaktorit plutoniumin tuotantoon ja suuri atomitutkimusorganisaatio. Geneven "rauhanatomikonferenssi" vuonna 1955 vauhditti ydinenergian rauhanomaisten sovelutusten käynnistymistä. Ydinsukellusveneiden voimareaktori-rakentaminen edisti myös rauhanomaisten ydinsähkövoimaloiden suunnittelua. Vuosina 1958–64 joutui atomialan teollisuus vaikeuksiin, mutta noin vuodesta 1964 alkoi vilkas ydinvoimaloiden rakentamiskausi, joka päättyi 1978. Poliittiset ja taloudelliset tekijät sekä ydinvoimalaonnettomuudet (Harrisburg, USA 1979 ja Tshernobyl 1986) aiheuttivat ydinvoiman hidastumista eräissä maissa.*



Manhattan-projektin ratkaisuhetkiä. Tarina kertoo, että lyhenne SCRAM eli reaktorin pikasulku on peräisin sanoista "Safety Control Rod Ax Man".

Atomien rakennetta koskeneen vuosikymmeniä kestäneen tutkimustyön keskeiset ongelmat — fissio ja ytimen pisaramalli sekä ketjureaktion mahdollisuus — ratkaistiin vuosina 1938 ja 1939, juuri toisen maailmansodan kynnyksellä. Tiede avasi tällöin mahdollisuudet valtavalle tekniselle kehitykselle, joka tuossa tilanteessa suuntautui kaikissa maissa sotilaallisiin tarkoituksiin.

Ranskassa asetettiin tavoitteeksi ydinreaktori sukellusveneiden voimanlähteeksi, Saksassa, Japanissa, Englannissa ja Yhdysvalloissa tavoitteeksi otettiin atomipommi. Vain Yhdysvalloilla oli riittävät edellytykset viedä tutkimus käytännön tuloksiin. Joulukuun 2 päivänä 1942 käynnistyi maailman ensimmäinen reaktori Chicagossa. Tällöin tuli käytännössä osoitetuksi ketjureaktion toimiminen. Tie oli avoin sekä plutoniumin tuottamiseen atomipommin valmistamiseksi että ydin-



Enrico Fermi'n johdolla rakennettu maailman ensimmäinen ydinreaktori saavutti kriittisyyden 2.12.1942. Reaktori sijaitsi Chicagon yliopiston stadionilla. Se oli grafiittihidasteinen luonnonuranaa käyttävä reaktori ilman jäähdytysjärjestelmää.

energian säädeltyyn tuottamiseen sotilaallisiin tai rauhanomaisiin tarkoituksiin.

Kuten tunnettua, aluksi kehitystyö kohdistui yksinomaan atomipommin tuottamiseen. 150 000 henkeä työllistäneen ja miljardeja dollareita maksaneen salaisen "Manhattan District" nimisen projektin avulla kehitettiin menetelmät ja rakennettiin teollisuus uraani-isotooppien eristämiseksi ja reaktorit plutoniumin tuottamiseksi sekä ratkaistiin aseteknologist kysymykset atomiseen rakentamiseksi. Atomipommi saatiin valmiiksi kesällä 1945 ja sitä käytettiin Hiroshimassa ja Nagasakissa tunnetuin seurauksin. Manhattan-projekti loi Yhdysvaltoihin ydintekniikan perustan sekä teollisuuden ydinmateriaalien ja laitteiden tuottamiseksi avaten tien myös rauhanomaiselle ydinvoimalle.



## Sodan jälkeinen tilanne

Toisen maailmansodan päätyttyä olisi luullut että ydinteknologian rauhanomaiset sovellukset otettaisiin välittömästi kehitystyön kohteiksi. Näin ei kuitenkaan käynyt, vaan Yhdysvallat jatkoi sotilallista tutkimusta keskittyen atomisalaisten varjelemiseen ja uusien ydinaseiden kehittämiseen.

Vuonna 1945 säädettiin erityinen laki (McMahon Bill) joka määräsi mm. atomisalaisten paljastamisesta kuolemanrangaistuksen rauhanajan aikana. Sen nojalla tuomittiinkin kuolemaan 1951 ja teloitettiin 1953 mm. Ethel ja Julius Rosenbergin pariskunta vakoilutietojen välittämisestä. Laki ehkäisi tehokkaasti ydinteknologian ”know hown” leviämisen siviiliteollisuuteen.

Neuvostoliiton vuonna 1949 yllättäen suorittama ensimmäinen atomipommikoe ja elokuussa 1953 — vain 10 kk Yhdysvaltain ensimmäisen vetypommikoe jälkeen — suorittama vetypommikoe osoittivat ettei salaisuus ollutkaan enää salaisuus ja johtivat Yhdysvalloissa politiikan muutokseen.

## Rauhanatomiohjelma

Presidentti Eisenhower julisti YK:ssa 8. p:nä joulukuuta 1953 pitämässään kuuluisassa puheessa ”Atoms for Peace” nimellä tunnetun rauhanatomiohjelman. Hän puhui voimakkaasti aseidenriisunnan puolesta esittäen rauhanomaisiin tarkoituksiin tapahtuvan atomivoiman käytön edistämistä.

Hän ehdotti edelleen Kansainvälisen atomienergiajärjestön (IAEA) perustamista tähän tarkoitukseen luvaten myös tietotaitoa ja materiaaleja järjestön käyttöön. Elokuussa 1954 McMahonin lakia muutettiin siten että se salli atomiraaka-aineitten ja atomitekniisten laitteiden toimittamisen muille maille bilateraalisten sopimusten puitteissa.

## Geneven rauhanatomikonferenssi 1955

Eisenhowerin ehdotukset otettiin hyvin vastaan. Marraskuussa 1954 YK:n yleiskokous suositti yksimielisesti IAEA:n perustamista ja päätti ensimmäisen ns. Geneven rauhanatomikonferenssin järjestämisestä elokuussa 1955. Tästä konferenssista muodostui voimakas virike rauhanomaisen ydinvoiman kehittämiselle eri maissa. Siinä esitettiin noin 500 tieteellis-



Presidentti Eisenhower julistaa YK:ssa ”Atoms for Peace” rauhanatomiohjelman joulukuussa 1953.

tä tiedonantoa, joissa julkistettiin runsaasti varhemmin salassa pidettyä tietoa. Sen yhteydessä pidettiin myös suuri näyttely ja supervaltojen propagandakilpa saavutti valtavat mitat.

Eräs rauhanatomipropagandan tarkoitus oli varmaan puhdistaa ydinkokeiden mustaama ydinenergian imago. Raivosihan ensimmäinen ydinkokeaus samanaikaisesti kuumimmillaan kummankin supervallan räjäytellessä toinen toistaan suurempia vetypommeja.

1.4.1954 joutui japanilainen kalastusalus Fukuriu Maru eli Onnellinen lohikäärme Bikinillä räjäytetyn vetypommikoeen laskeumaan ja sen koko miehistö sairastui säteilyyndroomaan. Tämän onnettomuuden ja nopeasti yleistyvän laskeumatutkimuksen ansiosta tuli maailmanlaajuisen laskeuma 1955 koko maailman yleiseen tietoisuuteen. Suomessakin suoritimme Biokemiallisessa tutkimuslaitoksessa vuoden 1955 jälkipuoliskolla ensimmäiset sateiden beta-radioaktiivisuuden mittaukset voidaan mm. näytteiden hajoamisrymin perusteella tunnistaa, mistä ydinkokeista ne olivat peräisin.

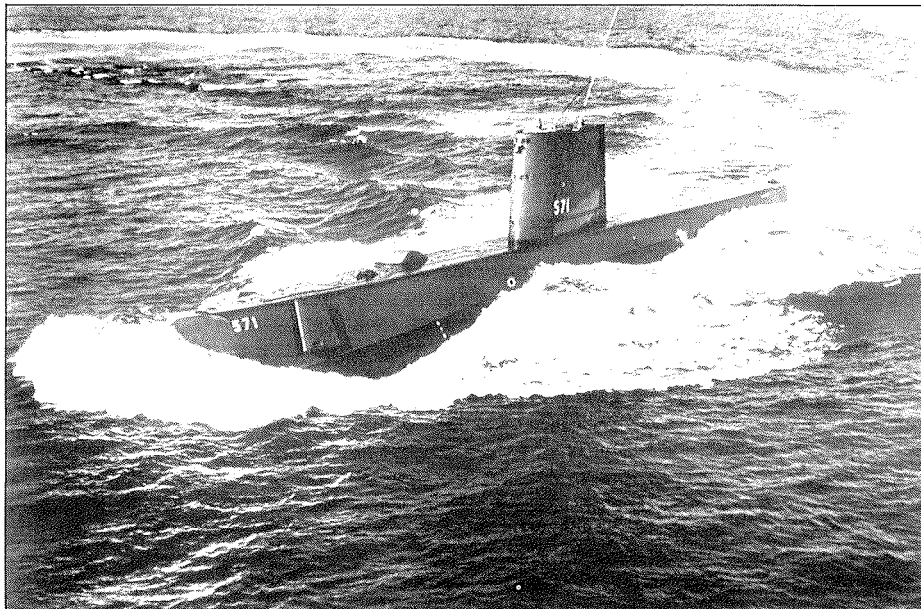
Neuvostoliitto yllätti kahdella tavalla. Kuukautta ennen Geneven konferenssia se järjesti Moskovassa oman atomikonferenssinsa, jonka vetonaulana oli ”maailman ensimmäinen rauhanomainen ydinvoimala”, Obninskissa Moskovan lähellä

sijaitseva 5 MWe:n koereaktori. Se oli painevesireaktori, jossa hidastimena toimi grafiitti ja lämmön siirtimenä polttoainesauvojen ympärillä juokseva kevyt vesi. Se oli Tshernobyllissä myöhemmin tunnetuksi tulleen kanavareaktorin kantaäiti. Geneven atomikonferenssissa Neuvostoliitto taas yllätti julkistamalla 100 laadultaan varsin hyvää tieteellistä tiedonantoa, jotka osoittivat, ettei se ollut ydintekniikassa juuri Yhdysvaltoja jäljessä.

Geneven konferenssi synnytti suuren innostuksen ydinenergian rauhanomaiseen käyttöön ja moniin maihin eri puolilla maailmaa — Suomeenkin — perustettiin atomienergiatoimikunta tätä edistämään; eräisiin maihin perustettiin myös atomitutkimuskeskus. IAEA piti perustavan yleiskokouksensa lokakuussa 1957 ja on siitä lähtien toiminut varsin tyydyttävästi atomivoiman ja sen turvallisuuden edistämiseksi ja fysiokelpoisen materiaalin ns. safeguardsvalvonnan hoitamiseksi.

## Ydinvoima laivojen voimanlähteenä

Ensimmäiseksi lähti ydinvoimaloiden rakentaminen käyntiin sukellusveneidän voimanlähteiksi. Yhdysvalloissa, jossa McMahonlaki esti siviiliteollisuutta saamasta atomitietoutta haltuunsa, alkoi sukellusvenereaktorin kehittäminen voimakastahtoisen amiraali Hyman Rickoverin aloitteesta jo vuonna 1946, jolloin hän



Ydinkäyttöinen Nautilus sukellusvene laskettiin vesille 21.1.1954. Se poistettiin käytöstä 1985.

alkoi laatia suunnitelmia sitä varten. Hän saikin esityksensä läpi ja atomienergiaohjelmaan otettiin erääksi pääkohteeksi ydinsukellusveneen kehittäminen. Idahon perustettiin tarkoitusta varten reaktorin kehitys- ja kokeilulaitos.

Ensimmäinen sukellusvenereaktorin prototyyppi valmistui joulukuussa 1951 ja sukellusvene Nautilukseen sijoitettava voimareaktori — vesihidasteinen, polttoaineena väkevästi rikastettu uraani zirkoniumkuoressa — 3 kk myöhemmin. Nautilus laskettiin vesille 1954; 1958 se kulki 2 500 kilometrin matkan sukelluksissa pohjoisen napajäätikön alitse 20 solmun nopeudella.

Vuonna 1986 Yhdysvaltain laivasto käsitti 136 ydinkäyttöistä sukellusvenettä joista 38 ballistisin ohjuksin varustettuja ja 98 taktisia hyökkäyssukellusvenettä sekä 9 ydinvoimalla kulkevaa risteilijää ja 4 lentotukialusta.

Neuvostoliitolla oli vuonna 1986 185 ydinkäyttöistä sukellusvenettä, joista 62 strategisia ja loput taktisia. Sillä on myös ydinkäyttöinen jäänsärkijä Lenin. Myös Englannilla, Ranskalla ja Kiinalla on ydinkäyttöisiä sukellusvenettä. Yhdysvallat ja Japani ovat kokeilleet ydinvoimaa myös kauppalaivojen voimanlähteinä, mutta siitä on sittemmin luovuttu.

Sukellusvenereaktorin voimakas kehitystoiminta nosti painekevytvesireaktorin Yhdysvalloissa kehittyneimmäksi reaktoriyypiksi myös siviilisähköntuotantoon ja aloitti Neuvostoliitossakin voimalareaktoreille toisen linjan alkuperäisen kanavareaktorimallin rinnalle.

### Atomiregressio

Ensimmäisen Geneven atomikonferenssin synnyttämä yliamupuva innostus ja liioitte-

lu aiheutti Yhdysvaltain atomiteollisuudelle takaiskun vuonna 1958. Monet suurin innoin mutta heikoin kaupallisin edellytyksin aloittaneet atomialan yritykset menivät nurin ja alettiin puhua atomiregressiosta. Syynä oli lievä teollisuuslama, konventionaalisten polttoaineiden hinnan lasku ja fossiilivoimaloiden tehon nousu mm. uuden säätöelektronikan käyttöönoton ansiosta sekä hälyttävät ennusteet öljyvarojen ehtymisestä.

Niinpä YK:n vuonna 1958 pitämä toinen Geneven rauhanatomikonferenssi pidettiin melko vaisun tunnelman vallitessa. Vain yksi suurehko ydinvoimala oli juuri käynnistynyt, Shippingportiin USA:ssa 1957 valmistunut 60 MWe:n kevytvesireaktori jossa oli täysin rikastettua (93%) uraania dioksidina sisältävä sydän, uraanivaippa ja hidastimena paineenalainen kevyt vesi. Reaktorin rakentaja Westing-

house Corp. sai käyttää hyväkseen Idahon reaktorikokeiluaseman kokemuksia.

Argonneen valmistui vuonna 1951 kokeellinen hyötöreaktori josta ensi kerran johdettiin sähköä yleiseen verkkoon samana vuonna ja 1956 valmistui Argonneen 4 MWe:n ja 1957 Vallecitosiin 5 MWe:n kiehutusvesi-koereaktorit.

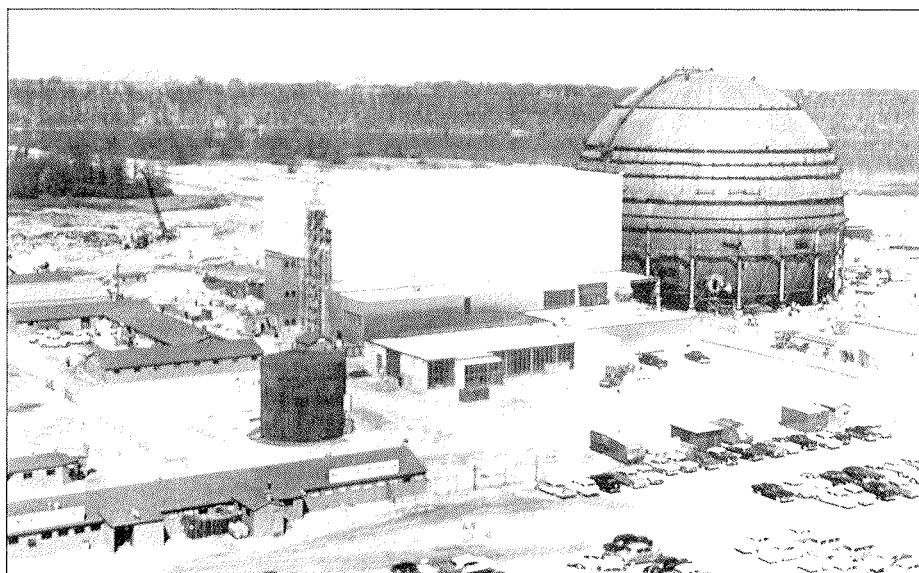
Ensimmäinen kaupallinen kiehutusvesireaktoriin perustuva sähkövoimala (208 MWe) valmistui Dresdeniin (Illinois) vuonna 1959.

Ranskassa valmistui 1956 2 MWe:n ja Englannissa Calder Halliin 1956-59 neljä noin 50 MWe:n grafiittimoderoitua kaasujäähdytteistä luonnonuraanireaktoria, joten ensimmäisiä kokemuksia pieneköistä voimalareaktoreista oli jo esiteltävänä.

### Ydinvoimalaboomi

Atomiregression voidaan katsoa menneen ohi jo 1964, jolloin Genevessä pidettiin kolmas ja toistaiseksi viimeinen rauhanatomikonferenssi. Siinä vallitsivat tasapainoiset näkemykset ja raportteja esitettiin saavutetuista tuloksista. Atomivoimalat alkoivat selviytyä hyvin taloudellisuuskilpailusta tavanmukaisten voimaloiden kanssa. Vuosien 1956—66 välisenä aikana käynnistyi maailmassa 42 suurehkoa, yli 10 MWe:n ydinvoimalaa, joista 6 oli teholtaan yli 200 MWe. 42 voimalasta oli 6 painevesi-, 10 kiehutus-, 3 raskasvesi ja luonnonuraani-, 18 kaasujäähdytteistä luonnonuraani-, 4 nestemetalli- ja 1 orgaanisjäähdytteisellä reaktorilla varustettuja.

1960-luvun puolivälissä alkoi Yhdysvalloissa ydinvoimaloiden kiivaan rakentamisen kausi, jota vuoden 1973 öljykriisi vielä vauhditti. Vuosina 1965-70 tilattiin ydinvoimaloita 88 000 MWe:n edestä! Väestön ja energiankulutuksen voimakkaan kasvun ja öljynsaannin vähenemisen



Ensimmäinen kaupallinen reaktori valmistui Dresdeniin Illinoisiin vuonna 1959. Se oli käytössä vuosina 1960—1984.

ennusteet osoittivat että uusia energianlähteitä tullaan tarvitsemaan ja ainoa tunnettu sellainen, jonka avulla voidaan tuottaa energiaa konsentroidusti, oli ja on edelleen ydinenergia.

## Ydinvoima vastustuksen kohteena

1960-luvulla syntyi Yhdysvaltain yliopistoissa nuorisoliike, joka vastusti sotaa, kutsuntoja, auktoriteetteja yleensä, sotateollista kompleksia ja yleensä suurteollisuutta ihailien ”pieniä yksikköjä” ja vuodesta 1973 alkoi Yhdysvalloissa esiintyä poliittista ydinenergian vastustusta, joka sai alkunsa ydinaseiden ja Vietnamin sodan vastaisesta hyvin järjestäytyneestä rauhanliikkeestä. Vuonna 1978 päätyi uusien reaktoritilausten teko, osa vanhoista tilauksista peruutettiin ja osan jo rakenteilla olevista työt keskeytettiin.

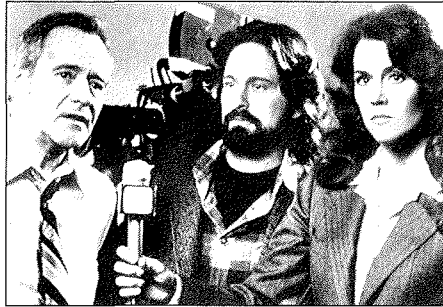
Vietnamin sodan loppuessa ja SALT-1 sopimuksen syntyessä 1972 jäivät Yhdysvalloissa vuosikautia toimineet ”ammattimaiset” sodanvastustajat ”työttömiksi”. Kansalaiset eivät enää olleet innostuneet antamaan rahaa ydinaseiden vastustamiseen, sillä SALTin merkitystä yliarvioitiin.

Sodan vastustajiin liittyivät silloin ympäristönsuojelun aktivistit ja yhteiseksi kohteeksi valittiin rauhanomainen ydinvoima. Eräs ärsytystekijä oli ehkä rauhanatomipropagandan taannoinen lioittelu, jotka nyt kostautuivat. Muuan argumentti oli, että rauhanomainenkin ydinvoima voi helpottaa ydinaseiden leviämistä, mikä joissakin tapauksissa voi pitääkin paikkansa. Laajempaa taustana oli em. nuorison nousu auktoriteetteja, sotateollista kompleksia ja yleensä suurteollisuutta vastaan.

Liike levisi Yhdysvalloista Ruotsiin, missä Keskustapuolue omi sen vaalivaltiuksen. Käyttäen taitavasti hyväkseen yleisön ydinvoiman pelkoa se lioitteli ydinvoimaloiden päästöjen, suuronnettomuuksien ja ydinjätteiden loppusijoittamisen riskejä.

Ydinvoiman vastustajat korostivat ydinvoiman ja ydinaseiden yhtäläisyyksiä mainitsematta niiden eroavaisuuksia. Kun asiaan perehtymättömät äänestäjät joutuivat valitsemaan väitetyt vaaran ja näennäisen varmuuden välillä le harvovaisina valitsevat tietysti varmuuden uskoen Murphyn lakiin, jonka mukaan kaikki mikä voi mennä pieleen myös menee pieleen.

Niinpä keskustapuolue onnistui kaatamaan Palmén hallituksen vuonna 1975 sosiaalidemokraattien oltua vallassa 40 vuotta. Ruotsin energiapolitiikka joutui moniksi vuosiksi ydinvoiman pelon hallitsemaksi. Nyt näkyi kuitenkin merkkejä varovaisesta paluusta rationaalisemmille linjoille.



Elokuva ”Kiinailmiö” nousi nopeasti ydinvoiman vastustuksen symboliksi.

Myös Itävallassa käytiin demagogian värittämä vaalitaistelu ydinvoimasta vuonna 1978. Vastustajat voittivat niukasti. Juuri valmistunut ydinvoimala jätettiin ottamatta käyttöön.

## Muita jarruttavia tekijöitä

Yhdysvalloissa aiheuttivat myös muut jarruttavat tekijät kuin poliittinen vastustus ydinvoiman kasvun hidastumista 1970-luvulla. Ydinvoimaloiden suurten perustamiskustannusten rahoittaminen tuotti ongelmia, inflaatio ja suunnittelun, lisensoinnin ja rakentamisen hitaus — ne vaativat yhteensä yli 10 vuotta — nostivat kustannuksia. Three Mile Islandin (TMI-2) onnettomuus 1979 herätti yleisössä pelkoa ja johti hallituksen omaksumaan uusia turvallisuusstandardeja. Yhdysvalloissa tapahtui myös viranomaisvastuun uudelleenjärjestelyjä mm. Atomienergia- ja Ydinturvallisuuskomission (NRC) sekä Energiantutkimus- ja kehityshallituksen (ERDA) kesken.

Myös ydinaseiden leviämisen riski koettiin ydintietouden leviessä entistä suurempaan. Se vaikutti jarruttavasti suunnitelmiin ydinpolttoaineen jälleenkäsittelyyn ja kiertäytymiseen sekä hyötöreaktorien kehittämisen suhteen.

Vaikka TMI-2 -onnettomuuden jälkeen tehtiin suuria parannuksia eikä uusia onnettomuuksia ole sattunut, on vastustus jäänyt yleisön muistiin ja Tshernobylin onnettomuus 1986 herätti sen uudestaan eloon. Hyötöreaktoreiden kehitys Yhdysvalloissa kärsi takaiskun kun Clinch River koereaktoriprojekti lopetettiin. Fuusiotutkimuksen rahoitus on ollut melko vaatimatonta eikä sen osalta ole läpimurtoa vielä näkyvissä.

## Ydinvoiman tulevaisuus maailmassa

Maailmassa oli vuoden 1990 lopussa toiminnassa 423 ydinvoimalaa ja 83 uutta oli rakenteilla. Samaan aikaan olivat maailman ydinvoimalat keränneet yhteensä 5622 käyttövuotta kokemusta ja tuottaneet yli 18 000 terawattituntia sähköä.

Toisaalta, yksi paha ydinvoimalaonnettomuus on sattunut huonosti suunnitellun ja huonosti hoidetun ydinvoimalan räjähtäessä lukuisten turvallisuusmääräysten tahallisen rikkomuksen seurauksena.

Viime vuosina ovat energiasuunnittelijat mm. Yhdysvalloissa ja Euroopassa tulleet siihen tulokseen, ettei energiantuotannon ympäristövaikutuksia voida hallita pelkällä säästöllä ja ns. uusilla energianlähteillä (tuuli, vuorovesi ja aurinkosähkö). Entistä huolellisempia suunnitelmia turvallisen ydinvoiman lisäämiseksi on tehty eri maissa.

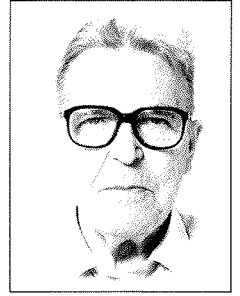
Yhdysvaltain uusi kansallinen energiastrategia käsittää energiaohjelman, jossa standardisoidut reaktorilaitokset yhdistettyinä yksinkertaistettuun lupakäsittelyyn ja parannettuihin rakennusprojekteihin lupaa alentaa ydinsähköä kustannuksia kolmanneksella. Ydinvoima osoittaa jälleen kasvun merkkejä myös useissa Euroopan maissa.

## Ydinvoiman tulevaisuus Suomessa

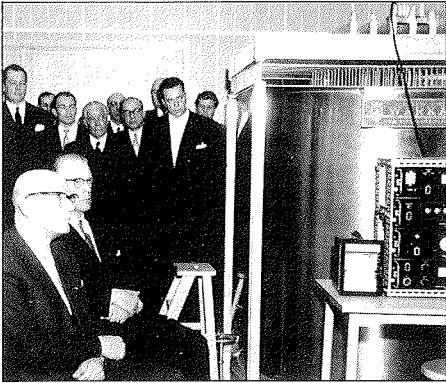
Meille Suomeen rakennettiin 1970-luvulla kaksi ydinvoimalaa, joista saadut kokemukset ovat hyviä. Niiden turvallisuusjärjestelmiä on TMI-2- ja Tshernobylin onnettomuuksien perusteella paranneltu niin, että ne täyttävät hyvin IAEA:n asettamat vaatimukset. Uudet reaktorit voitaisiin kuitenkin rakentaa vieläkin turvallisemmiksi. Lähivuosina tilattuina ne luultavasti perustuisivat tähänastisten mallien parannettuihin versioihin, jotka on varustettu uusilla turvallisuuslaitteilla, mutta vuosikymmenen lopulla voi tilattavissa olla jo uusille suunnitteluperiaatteille perustuvia reaktoreita, joissa luonnonlait tekevät vakavan onnettomuuden mahdottomaksi. Sellaisia on kehitteillä mm. Yhdysvalloissa ja Ruotsissa ja ensimmäiset prototyyppit valmistunevat vuosikymmenen puolivälissä.

Sähkökulutuksen kasvaessa ja ympäristönsuojelun vaatimusten kiristyessä, erityisesti hiilidioksidin päästöjen pienentämisen tullessa välttämättömäksi, olisi meillä tullut aloittaa viidennen, 1000 MWe:n ydinvoimalan rakentaminen jo useita vuosia sitten. Tshernobylin onnettomuuden herättämän poliittisen vastustuksen vuoksi se on kuitenkin viivästynyt ja voi edelleen viivästyä vielä vuosia. Tällöin joudutaan sähköntuontia Neuvostoliitosta — mikäli se on edelleen mahdollista — lisäämään tai ainakin jatkamaan ja tarvittaessa rakentamaan lisää fossiilivoimaloita. □

Professori emeritus Jorma K. Miettinen on Helsingin yliopiston radio-kemian laitokselta. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1967 ja oli Seuran johtokunnassa vuosina 1968-1970. Puh. 90-449038.



## Ydintekniikan maihinnousu Suomeen



Teollisuuden lahjoittaman eksponentiaalimihun luovutustilaisuus Otaniemessä keväällä 1958. Edessä presidentti Kekkonen sekä kauppa- ja teollisuusministeri Kivekäs.

*Ydintekniikka on paljon muutakin kuin ydinenergian käyttöä energian tuotantoon. Tanskassa ja Norjassa aloitettiin mittava ydintekniikan tutkimus viimeistäänkin 50-luvun alussa, mutta näissä maissa ei ydinvoimalaitoksia ole rakennettu. Suomessa aloitettiin ydintekniikan koulutus ja tutkimus 50-luvun loppuvuosina ja perusteena oli valmistautuminen siltä varalta, että ydinvoimalaitokset aikanaan voisivat tulla osaksi energiantuotantojärjestelmää. Ja tulivathan ne sitten 70-luvun koittaessa. Tuon tulemisen historia on monivaiheinen ja värikäskin ja sitä olen kuvannut kolmessa kirjassa: Atomienergian tekniikkaa ja politiikkaa (-67), Ydinenergia-politiikan harhailut (-77) ja Muistinvaraisia tarinoita (-81). Kun nuo kirjat on kirjoittanut nykyistä minääni huomattavasti nuorempi henkilö, jolla on ollut tukenaan vähän muistiinpanojakin, saanee tuon aikakauden tapahtumista niiden avulla totuudenmukaisemman kuvan kuin on se, jota tässä yritän rakentaa.*



Uraanitanko pannaan alumiinisuojakoteloon eksponentiaalimihua varten keväällä 1958 Warkaudessa.

Tässä yhteydessä ei ole syytä pohtia niitä USA:n presidentin avustajien ajatuksenkulkuja, jotka johtivat presidentti Eisenhowerin puheeseen YK:n yleisistunnossa joulukuussa -53, mutta seurauksena tuosta "Atoms for Peace"-puheesta oli koko maailman vallannut innostus ydinenergian rauhanomaiseen käyttöön. Innostus ei vallannut vain populaariviestintää vaan myös monia poliitikkoja ja talouselämän johtajia. Eräs seuraus tästä innostuksesta oli Suomen Akatemian valtioneuvostolle osoittama kirje, jossa esitettiin, että valtiolta tekisi asian hyväksi jotakin, vähintäänkin asettaisi — maailmalla yleisen tavan mukaan — erityisen valtionkomitean pohtimaan mitä olisi tehtävä, jotta mekin pääsisimme osallisiksi atomienergian siunauksista. Ja komitea asetettiin. Se ei kuitenkaan tehnyt ydinenergiasta mitään itsetarkoitusta ja otti nimekseenkin Energiakomitea korostaen näin sitä, että ydinenergiaa olisi Suomessa tarkasteltava vain yhtenä mahdollisena energiantuotannon osatekijänä, jos siitä käyttökelpoinen keino siihen tarkoitukseen aikanaan kehittyisi. Ydinvoimatekniikan

arvioi komitea sen verran vaativaksi, että se suositteli ryhtymistä erityistoimiin tarpeellisen ja tarpeeksi pätevän henkilöstön kouluttamiseksi.

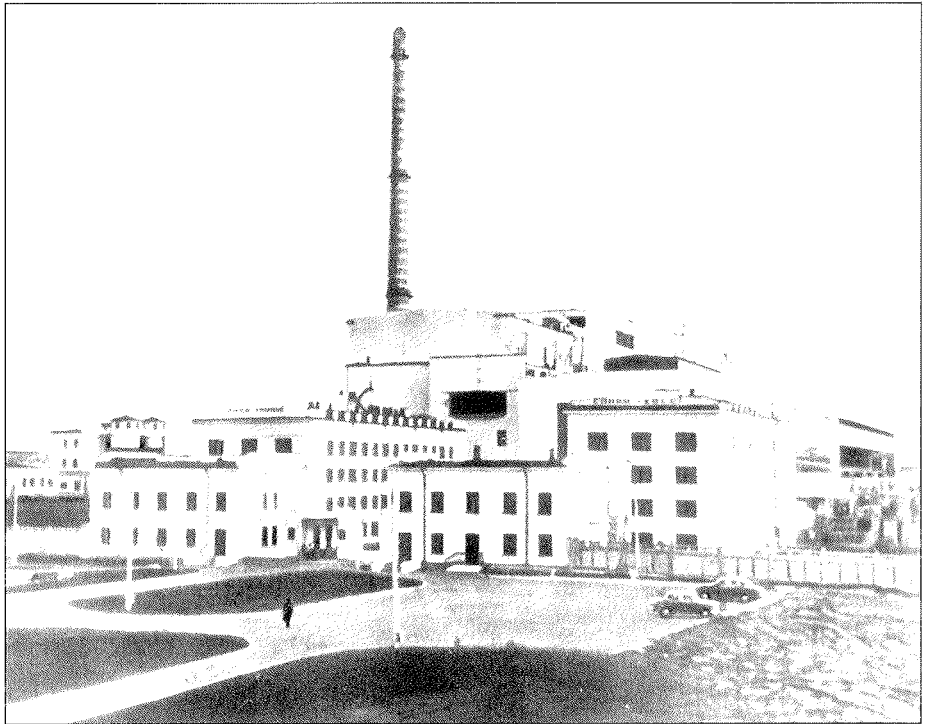
Jos puhutaan ydintekniikasta yleensä, niin sen tulo Suomeen liittyy olennaisesti tuon Energiakomitean arvioimaan koulutustarpeen tyydyttämiseen. Sen merkeissä saatiin Otaniemeen ensin alikriittinen miilu ja pian myös Amerikasta hankittu reaktori, joka vihittiin käyttöön -62. Näin syntynyt reaktorilaboratorio muodostui ydintekniillisen tutkimuksen keskeiseksi. Alikriittinen miilu oli muuten yksityisen teollisuuden lahja Teknilliselle Korkeakoululle ja kotimaisella teollisuudella oli tietty osuutensa myös reaktorin rakennustyössä. Näiden asioiden takana oli teollisuuden perustama yhdistys, Voimayhdistys Ydin, jonka puitteissa myös jo varsin aikaisessa vaiheessa ruvettiin soveltamaan ydintekniillisiä menetelmiä — erityisesti merkkiaineanalyysejä — teollisuuden toiminnan yhteydessä esiintyvien ongelmien selvittelyyn.



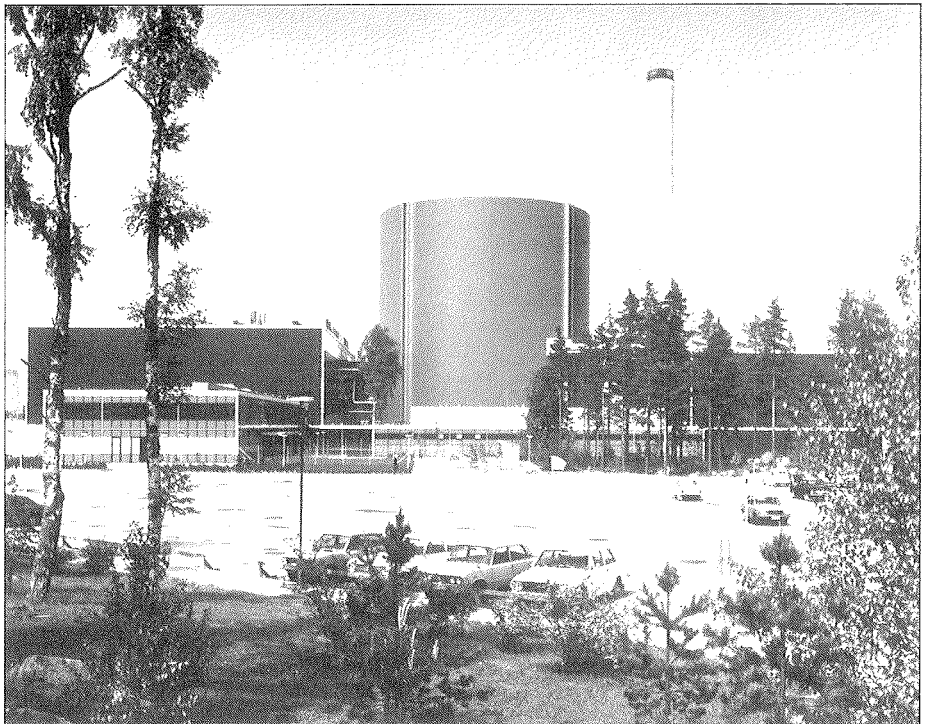
Jos ydintekniikan koulutuksen ja tutkimuksen käyntiinsaattaminen olikin loppujen lopuksi varsin kivuton prosessi, niin sitä mutkikkaammaksi osoittautui päätöksenteko ydinvoimalaitoksen rakentamisesta. Noina aikoina oli nykyisin niin vaikuttava ydinvoiman vastustus tosin vielä tuntematon ilmiö, sillä ensimmäinen sen tuloa ennakoiva artikkeli ilmestyi Hufvudstadsbladetissa vasta 60- ja 70-lukujen vaihteessa kirjoittajanaan Nalle Valtiala. Mutta muita asiankulkua mutkistavia tekijöitä oli riittämiin. Tässä voin viitata vain kahteen vaikuttavimpaan. Aina Imatran kosken valjastamisesta lähtien oli vastakkain ollut kaksi ajatustapaa, rakentaako suurvoimantuotannon kapasiteettia yksityinen suurteollisuus vaiko Suomen valtio. Nyt taisteltiin siitä, rakentaako ensimmäisen ydinvoimayksikön yksityinen teollisuus vaiko Imatran Voima Oy. Toinen vaikuttava tekijä oli Neuvostoliiton julkituoma halu olla ydinvoiman rakentajana Suomessa. Tästä oli minutkin saattanut tietoiseksi suurlähettiläs Lebedev kahdenkeskisellä lounaalla keväällä -56 ja tästä halusta oli varmasti presidentti Kekkonen jatkuvasti muistutettu. Mutta mitä paremmaksi kehittyi vastakoulutettujen ammattimiesten asiantuntemus sitä varmemmalta tuntui, että Neuvostoliitosta tarjolla olevaa reaktorityyppiä ei ainakaan sellaisenaan tulla Suomeen hyväksymään.

Vuonna -63, jolloin USA:ssa sanottiin tehdyn ensimmäinen ydinvoimalaitoskauppa, alkoi peli myös Suomessa. Taus-tavoimanaan yksityinen suurteollisuus Kotkan Höyryvoima Oy toimitti kesäkuussa sanomalehtiin uutisen, että se tulee rakentamaan Suomen ensimmäisen ydinvoimalaitoksen. Ja vastaus tuli heti: heinäkuussa antoi IVO:n hallintoneuvosto yhtiön johtokunnalle valtuudet ydinvoiman tarjouskilpailun avaamiseen. Yksityinen suurteollisuus vetäytyi (tai se saatiin vetäytymään) kilpailusta, mutta eivät IVO:n saamat tarjouksetkaan — joiden joukossa oli myös Neuvostoliitosta tullut ehdotus — johtaneet kauppaan. IVO:n omistajan ääntä käyttävä valtioneuvosto sanoi ei halvimman tarjouksen tehneelle AEG:lle.

Muutamaan vuoteen ei sitten tapahtunutkaan mitään ratkaisevaa. Mutta näihin aikoihin oli Väinö Leskisestä tullut Neuvostoliiton hyväksymä poliittinen henkilö ja 60-luvun tehdessä loppuaan hänet nimitettiin teollisuusministeriksi. Tässä ominaisuudessa hän pani kokoon taas uuden atomidelegaation hän itse luonnollisesti puheenjohtajana ja niin mentiin taas kerran naapurisuurvallan vieraiksi. Kesken hyvin pitkäksi venyneen neuvottelun Leskinen poistui sivuhuoneeseen yhdessä ministeri Skatskovin kanssa ja sieltä ulos tullessaan sanoi, että nyt se voimalaitos on sitten tilattu. IVO:n ammattimiesten vaikeaksi tehtäväksi tuli muuntaa laitoksen konstruktiota niin, että siitä



Tällaisena teollisuusministeri Väinö Leskinen sen meille osti — Novo Voronezhin atomivoimalaitos Neuvostoliitossa (yllä); ja tällaisen me rakensimme — Loviisan atomivoimalaitos 8.6.1977 (alla).



tuli länsimaiset turvallisuus- ja varmuusnormit täytävä laitos Loviisa ykkönen. Näin siis tuli ydinvoima Suomeen. Kuva ei kuitenkaan olisi täydellinen ellei lisäksi todettaisi, että nyt kun Neuvostoliiton ambitiot olivat tulleet tyydytytyiksi, näytti presidentti Kekkonen vihreätä valoa myös lännestä tapahtuville hankinnoille ja niin alkoi Olkiluotoon nousta ruotsalaista alkuperää oleva ydinvoimalaitos.

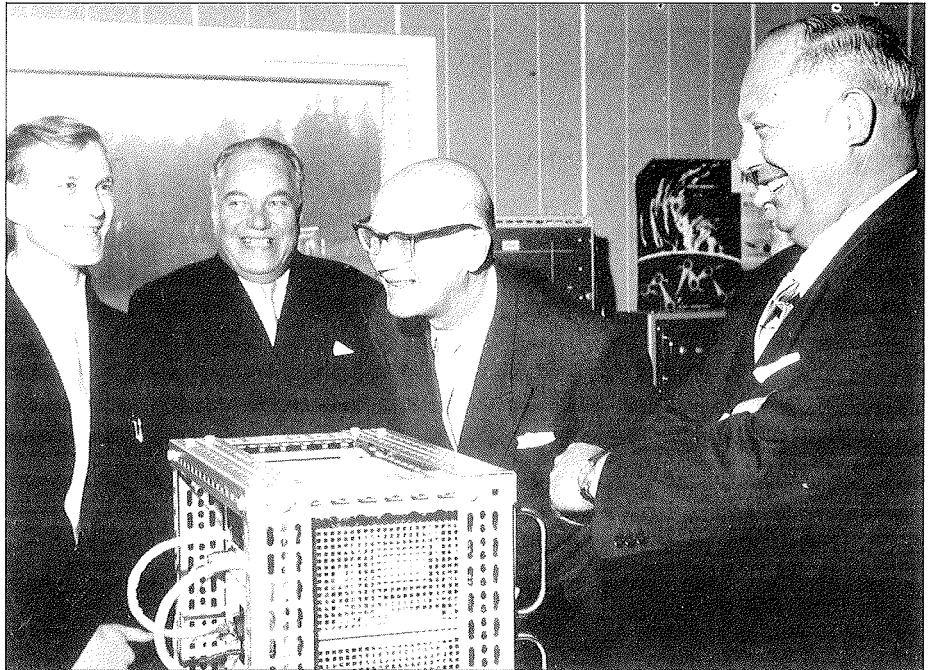
Miksi ja millä tavalla päädyttiin siihen, että niin Loviisaan kuin Olkiluotoonkin rakennettiin saman tien kakkosyksiköt, se ei kuulu enää minulle annettuun aihepiiriin. □

Akateemikko Erkki Laurila on  
ATS:n perustaja- ja kunniajäsen.  
Puh. 915-160345.



# Ydintekniikka teknologiaveturina

*Ydinenergian valjastaminen merkittäväksi energialähteeksi edellytti sängen laaja-alaista teknologista kehitystyötä. Kehitystyön laaja-alaisuus ja suuri aineellisten ja henkisten resurssien panostus tekivätkin ydintekniikasta merkittävästi myös runsaasti muita alueita hyödyttävän teknologiaveturin. Koska Suomessa sekä ydintekninen tutkimus että teollinen toiminta suoritettiin hajaautusti muun tutkimuksen ja teollisuuden piirissä, pystyimme muilla alueilla hyötymään nopeasti tästä veturoinnista.*



*Ydintekniikkaan liittyy vaativaa automaatio- ja ohjaustekniikkaa. Eksponentiaalimilun ohjaustekniikkaa ihailevat vasemmalta oikealle: professori Jauho, professori Rahola, presidentti Kekkonen ja vuorineuvos Serlachius.*

Rauhanomaisen ydintekniikan kehittäminen eli ponnistelut lähes ehtymättömältä näyttäneen energiamuodon valjastamiseksi ihmiskunnan palvelijaksi vaativat tavattomasti uutta tietämystä ja teknologiaa mitä erilaisimmilla alueilla. Tavoite oli niin merkittävä ja läpimurron mahdollisuudet näyttivät niin lupaavilta, että henkisiä ja aineellisia resursseja käytettiin kehitystyöhön todella runsaasti. Panostus tekikin ydinenergiasta merkittävän energialähteen — tosin selvästi hitaammin ja vähäisemmässä mittakaavassa kuin odotettiin — ja vei samalla teknologiaa eteenpäin suurin harppauksin useilla alueilla. Ydintekniikkaan suuntautuneen panostuksen kanssa vastaavatyypisenä teknologiaveturina voidaan pitää avaruustoinnin kehittämistä. Nämä molemmat ovat kieltämättä saaneet merkittävästi pontimiaan historian kestoteknologiaveturista — sotateknologian kehittämisestä.

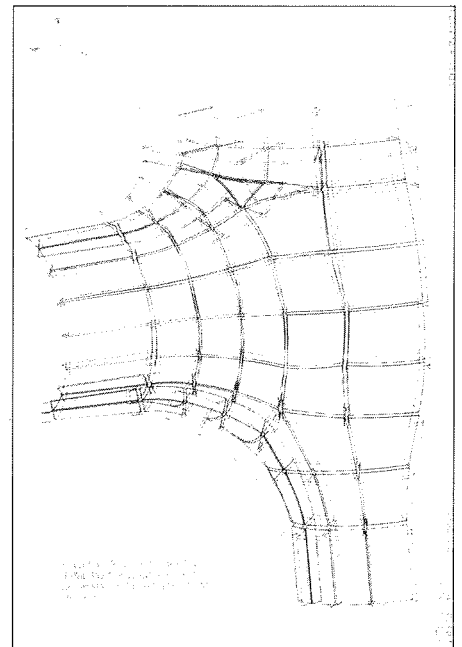
Mielenkiintoinen ilmiö on nykyinen kulutuselektronikan nousu huomattavaksi teknologiaveturiksi. Valtavat markkinat houkuttelevat mittaviin panostuksiin ja tuloksia on nähtävissä. CERNin tutkijat odottavat tarkkapiirtotelevisiohankkeen (HDTV) mikropiirejä rakentaakseen tehokkaampia tietojenkäsittely-yksiköitä ja japanilaisissa kameroissa käytetään vaativampia komponentteja kuin useimmissa

käytössä olevissa ohjuksissa. Näissä esimerkeissä pikemminkin vaununa pidetty kulutuselektronikka on muuttunut veturiksi.

Ydintekniikan teknologiaveturoinnille on ollut tyypillistä sen sängen laaja-alaiset vaikutukset. Tämä on johtunut erityisesti siitä, että tieteiskirjallisuuden sekä ydinaseiden onnettoman käytön kautta ihmisten mieliin ja tietoisuuteen tuodut säteily- ja ydintekniikka herättävät ihmisissä ylikorostuneitakin pelkoja ja vaativat kaikilta ydintekniikan piiriin kuuluvilta toimintoilta ennennäkemättömiä ja kokeuttomia luotettavuus- ja turvallisuustakuuta.

## Teknologiaveturointia laajalla alueella

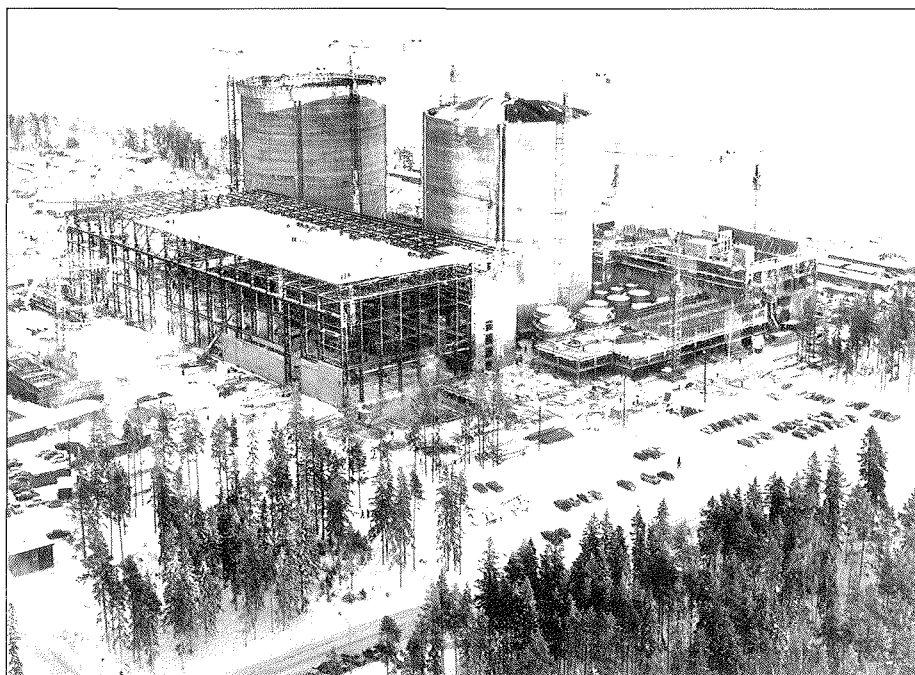
Ydinenergian käyttöönotto edellytti toisaalta monien uusien teknisten ongelmien ratkaisemista ja toisaalta käytettyjen ratkaisujen aikaisempaa huomattavasti vaativampaa turvallisuustasoa sekä tämän tason kvantitatiivista määrittelyä. Juuri viimeksi mainitusta näkökohdasta johtuvatkin paljolti ydintekniikan aiheuttamat teknologiahyppäykset. Reaktoripaineastia on tästä havainnollinen esimerkki. Koskaan aikaisemmin ei ollut tarvittu niin paksuseinäisiä paineestioita kuin paine-



*Ydintekniikan kehitystyö toi mukanaan laajalti myös muita alueita hyödyttäviä teknologisesti korkeatasoisia apuneuvoja. Kuvassa pääkiertopumpun vaipan erittäin vaativassa rakenneanalyysissä käytetty elementtiverkko. Kehittyneet rakenneanalyysimenetelmät hyödyttivät suuresti myös konventionaalisempaa konepajateollisuutta.*



vesireaktorin käyttö edellyttää. Tällaisen paineastian suunnittelu ja valmistus sekä sen kestävyuden kokeellinen ja laskennallinen osoittaminen ottaen huomioon sangen poikkeukselliset lämpöjännitykset, säteilyrasitukset, korroosiokysymykset, hitsausongelmat jne. oli aivan uuden luokan tehtävä. Lähes vastaavaa voidaan sanoa useimmista primäärikierron komponenteista. Suunnittelun haasteellisuudesta antaa hyvän kuvan se, että vuosien ajan varsinaisissa lujuslaskentakongresseissa lähes kaikki käsitellyt esimerkkitapaukset liittyivät ydintekniikkaan. Ydintekniikan kannalta oli onnellista, että tietokonetekniikan kehitys antoi mahdollisuuden ottaa käyttöön elementtimenetelmiä (FEM) aikaisempien analyttisten menetelmien tilalle. Näiden uusien rakennanalyysimenetelmien kehitys ja nopeutunut käyttöön-otto laajalti muunkin teollisuuden piirissä onkin eräs tärkeistä ydintekniikan teknologiaveturointiesimerkeistä. Samantyyppisiä esimerkkejä voidaan löytää hitsaus-tekniikan, erilaisen materiaalitekniikan ym. tekniikoiden piiristä.



*Pelkästään ydinvoimalaitoksen rakentamiseen liittyy hyvin vaativia työvaiheita mm. suojarakennuksen liukuvalu.*

Ydinvoimalaitoskomponenttien edellyttämien korkean laatu- ja turvallisuustason saavuttamisen varmistamisvaatimukset johtivat uudenlaisen laadunvarmistusfilosofian ja laadunvarmistusjärjestelmien kehittämiseen sekä suunnittelu- että valmistusmenetelmille. Vaikka tarkastusmenetelmien kohdalla tapahtuikin merkittävää kehitystä, vielä tärkeämpää oli se, että pitkälle vietyjen laadunvarmistusjärjestelmien avulla vaadittu taso pyrittiin ensisijaisesti suunnittelemaan ja valmistamaan — ei tarkastamaan — tuotteisiin.

Uusia ratkaisuja oli löydettävä ja näiden ja entisten ratkaisujen turvallisuustaso oli nostettava ja varmistettava riittävän korkeaksi mitä moninaisimmilla alueilla polttoainekierrosta, reaktorikomponenteista, järjestelmistä ja rakennuksista aina jätteen käsittelyyn ja loppusijoitukseen. Tämä vei teknologiaa eteenpäin mitä moninaisimmissa kohteissa ja koitui laajalti myös konventionaalisen tekniikan hyväksi.

Ydinvoimalaitos kokonaisuudessaan muodosti suuruusluokaltaan järjestelmän, jollaisen analyysi vaadittavalla turvallisuustasolla oli täysin uusi tehtävä. Tämä veikin mutkikkaiden järjestelmien luotettavuustarkastelutekniikan uudelle tasolle, mistä on ollut laajasti hyötyä luotettavuus- ja turvallisuusvaatimusten kiristyessä kautta koko teollisen toiminnan ja yhteiskunnan infrastruktuuriin.

### Suomessa on pystytty hyödyntämään ydintekniikan teknologiaveturointia laajasti

Ydintekniikan piirissä tapahtunutta moninaista kehitystä on Suomessa pystytty hyödyntämään muilla tekniikan ja teollisuuden alueilla tehokkaasti erityisesti siksi, että meillä sekä ydintekniikan tutkimus että ydinvoimalaitoskomponenttiteollisuus oli sijoittunut hajautetusti muun tutkimuksen ja teollisuuden keskuuteen. Meilähän ei huomattavasta ydinvoimaohjelmastamme huolimatta perustettu varsinaista ydintutkimuskeskusta eikä teollisuus rakentanut erityisiä ydinvoimalaitoskomponenttituotantolaitoksia. Tutkimustoimintahan suoritettiin pääasiassa VTT:ssä ja eräissä tutkimuslaitoksissa enemmän tai vähemmän hajautettuna ja vuorovaikutuksessa muun tutkimustoiminnan kanssa. Teollisuudessa voimalaitoskomponenttien ja järjestelmien suunnittelu ja valmistus tapahtui valtaosin välittömässä yhteydessä konventionaalisen toiminnan kanssa. Viimeksi mainittu teki laadunvarmistusjärjestelmien kehittämisen ja käytön huomattavasti vaativammaksi kuin yksinään ydinvoimalaitoskomponenttien valmistukseen pyhitetyissä tuotantolaitoksissa. Tästä oli kuitenkin se todella suuri hyöty, että ydintekniikan mukanaan tuomat uudet kehittyneet lu-

juuslaskenta-, hitsaus-, laadunvarmistus- ym. menetelmät saatiin meillä konventionaalisen konepaja- ja sähköteknisen teollisuuden käyttöön varmasti useita vuosia aikaisemmin kuin muuten olisi käynyt. Teollisuutemme kilpailukyvyllä laajasti katsoen oli tällä varsin suuri merkitys.

### Ydintekniikan teknologia- veturointi jatkuu

Kehitystyö ydintekniikan piirissä jatkuu ja tuottaa edelleen myös muille alueille sovellettavia tuloksia, vaikkakaan panostukset ja veturointi eivät ole suhteellisesti sitä luokkaa mitä ne olivat kiivaimmassa kehitysvaiheessa. Ydintekniikan suoranaisten ja välillisten hyötyjen tarkastelu ja vertailu on sangen mielenkiintoinen alue ja ansaitsisi myös Suomen tekniikan ja teollisuuden osalta perusteellisempia analyysejä. □

Tkt Juhani Kuusi on Teknologian kehittämiskeskuksen (TEKES) pääjohtaja. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1966 ja oli Seuran johtokunnassa vuosina 1972-1974.  
Puh. 90-69367700.



# IAEA — ydinvoiman edistäjä ja turvallisuuden vaalija

*Kansainvälisen Atomienergiajärjestön (IAEA) perussäännön mukaisena tehtävänä on edistää atomienergian rauhanomaista hyväksikäyttöä ja samalla varmistaa, ettei sen antama apua käytetä mihinkään sotilaallisiin tarkoituksiin. Tämän näennäisesti ristiriitaisen tehtävänsä järjestö on hoitanut hyvin — sitä pidetään yleisesti yhtenä parhaiten toimivista YK-järjestöistä. Sen monien teknisten ohjelmien ohella voidaan turvallisuuskysymyksiin ja ydinaseiden leviämisen estämiseen liittyvää toimintaa pitää ydinvoiman parhaana.*

Kansainvälisen Atomienergiajärjestön syntysanat lausui presidentti Eisenhower YK:n yleiskokouksessa joulukuussa 1953. Hän ehdotti, että ydinenergia-alalla edistyneimmät maat asettaisivat osan ydinpolttoainevaroistaan erityisen kansainvälisen järjestön välityksellä muiden maiden käytettäväksi. Järjestön tuli huolehtia siitä, että materiaali käytetään yksinomaan rauhanomaisiin tarkoituksiin.

Järjestöstä tulisi itsenäisempi kuin muut erityisjärjestöt. Järjestön peruskirjan laati kahdeksan maan ryhmä ja se hyväksyttiin lokakuussa 1956. Peruskirja tuli voimaan kesäkuussa 1957 ja järjestön ensimmäinen yleiskokous pidettiin saman vuoden lokakuussa Wienin Konzerthaus'issa.

Suomi ei ollut allekirjoittanut peruskirjaa, mutta silloisessa Energiakomiteassa pidettiin Suomen liittymistä järjestöön tarpeellisenä. Niinpä tämän kirjoittaja, jonka ylijohdaja Erkki Kinnunen ja akateemikko Erkki Laurila olivat juuri houkutelleet kauppa- ja teollisuusministeriön hoitamaan mm. atomiasioita, päätettiin lähettää Wieniin seuraamaan kokousta.

Kokoussihteeristössä työskennellyt, myöhempi YK:n apulaispääsihteerin Brian Urqhart selosti kuinka järjestöön liittymisen tapahtuu. Suomen jäsenhakemus saa-



IAEA:n päämaja Wienissä.

puikin parin päivän kuluttua ja meille ilmoitettiin asian tulevan esille seuraavana päivänä. Silloinen Suomen asiantuntija Itävallassa, C.O. Frietsch totesi, että nyt on äkkiä laadittava tavanmukainen kiitospuhe. Ja apu olikin lähellä: hän muisti, että Suomen tultua edellisenä vuonna hyväksytyksi YK:n jäseneksi oli ulkoministeri Törngren käyttänyt puheenvuoron ja se löytyi juuri saapuneesta vuosikirjasta! Kaikki sujuikin asianmukaisesti ja meitä onnitteltiin tultuamme järjestön ensimmäiseksi valituksi jäseneksi. Jäsenmäärä oli tuolloin 56, nyt se on 112.

Kokous oli Itävallan taholta hyvin näytävästi ja juhlallisesti järjestetty. Eräänä iltana oli hallituksen järjestämä vastaanotto Schönbrunnin linnassa ja tähän tilaisuuteen liittyi hupaisa muisto. En ollut ehtinyt saada kutsua, mutta juuri silloin Wienissä jäähyväiskäynnillä ollut, Prahassa asuva suurlähettiläs Urho Vilpitiön Toivola oli sellaisen saanut. Kun hänellä kuitenkin oli myöhemmin illalla tapaami-

nen tilaisuuden isännän, ulkoministeri Figl'in kanssa, hän pyysi minua menemään ja niin teinkin. Kun saavuin linnaan huomasin vieraiden jonottavan portaikossa, jonka yläpäässä seisova marsalkka otti jokaisen kutsukortin, kopautti sauvallaan lattiaan ja esitteli vieraan kuuluvalla äänellä, minun kohdallani luonnollisesti: hänen ylhäisyytensä, Suomen suurlähettiläs! En tiedä huomasiko Figl, ettei tulija ollut hänen hyvin tuntemansa illallisvieras.

## Atomipankki

IAEA:n toiminta lähti nopeasti käyntiin, järjestön sihteeristö osoittautui asiansa osaavaksi ja ammattitaitoiseksi. Kuten valmistelukomitean laatimassa toimintasuunnitelmassa todettiin, keskittyi tekninen ohjelma aluksi erilaisten ydinteknisten menetelmien pariin. Ydinvoimaan liittyvän toiminnan oletettiin kuitenkin vähitellen muodostuvan IAEA:n tärkeimmäksi toimintakohteeksi. Tätä silmällä pitäen

ja alkuperäisen tarkoituksen mukaisesti asettivat Iso-Britannia, Neuvostoliitto ja Yhdysvallat yhteensä noin 5000 kg ydinpolttoainetta järjestön käyttöön. IAEA:sta käytettiin näihin aikoihin usein nimeä "Atomipankki". Tämä eräänlainen alkupääoma jäi kuitenkin lähinnä symboliseksi. Varsinaiset polttoainetoimitukset on järjestetty erityisten projektisopimusten puitteissa ja ne ylittävät moninkertaisesti edellä mainitun määrän.

### Molotovin seurassa hallintoneuvostossa

Suomi lähti alusta alkaen innokkaasti tukemaan järjestöä ja osallistui aktiivisesti sen toimintaan. Maamme valittiin vuonna 1960 hallintoneuvoston jäseneksi paikalle, jota pohjoismaat kierrättivät keskuudessaan. Peruskirjan mukaan paikan haltijan piti kuulua teknisen avun toimittajiin. Suomen edustajana eli kuvernöörinä toimi atomienergieneuvottelukunnan puheenjohtaja Erkki Laurila. Hän hoiti tätä tehtävää myöhemminkin useampaan kertaan. Samaan aikaan oli Neuvostoliiton pysyvänä edustajana Wienissä entinen ulkoministeri V.M. Molotov, jonka kanssa tietysti jouduimme jonkin verran tekemisiin. Sainpa häneltä kerran kutsun cocktailille!

### Suomi ensimmäisenä IAEA:n palvelujen käyttäjänä

Näihin aikoihin etsittiin IAEA:ssa sopivia toimintamuotoja ja tehtäviä. Suomessa toteutettiin kaksi merkittävää ja laatuuaan ensimmäistä yhteistyöhanketta: IAEA:ta pyydettiin välittämään Triga-reaktoriin ja alikriittilliseen miiluun tarvittava polttoaine sekä suoritettiin tutkimus ydinvoiman soveltuvuudesta Suomeen. Ydinpolttoaineen toimittamista koskevat pyynnöt oli siten määritelty, että toinen erä sopi Trigaan ja toista koskevat spesifikaatiot vastasivat tarkalleen Neuvostoliitossa käytössä olevia luonnonuraanisauvoja. IAEA:n eri toimittajamaille esittämiin tarjouspyyntöihin saatiin odotuksen mukaan vastaukset Yhdysvalloilta ja Neuvostoliitolta. Viimeksi mainittu materiaali saapui muistaakseni aikanaan ilman ennakoilmoitusta ja tavarana nimikkeenä oli "epäorgaanisia kemikaaleja"!

Ydinvoimaa koskevan soveltuvuustutkimuksen tekemistä ehdotti silloinen IAEA:n varapääjohtaja Laboulaye. Tutkimuksesta vastasi Suomessa Imatran Voima ja siihen osallistui kaksi IAEA:n asiantuntijaa, turkkilainen Erginsoy ja amerikkalainen Teitelbaum. Tutkimus julkaistiin IAEA:n toimesta nimellä "Prospects of Nuclear Power in Finland". Siitä voi päätellä, että eräin edellytyksin noin 250 MW:n ydinvoimalaitos näyttäisi taloudellisesti ja teknisesti perustellulta vuonna 1970. Tutkimusta ja julkaisua käytettiin myöhemmin hyväksi muissa maissa suoritettujen samanlaisten projektien yhteydessä.

IAEA:n alkuvuosiin liittyy myös yhteistyön perustaminen Monakossa sijaitsevan merentutkimuslaitoksen kanssa tarkoituksella tutkia meren radioaktiivisuutta. Tässäkin yhteydessä Suomi oli aktiivinen: projektin ensimmäiseksi johtajaksi nimettiin Merentutkimuslaitoksen silloinen ylijohtaja Ilmo Hela.

### Neljä pääohjelmaa

1960-luvun kuluessa IAEA:n toiminta sai vähitellen sen nykyisen muodon ja paljolti sisällönkin. Ohjelma muodostuu neljää pääkomponentista: ydinvoima ja polttoainekierto (vuoden 1991 budjetti USD

kuitenkaan johtaneet mihinkään konkreettiseen toimintaan. Kehitysmaiden aloitteesta on kumpikin kysymys jälleen ajankohtainen ja Suomikin on tukenut Egyptissä suoritettavaa soveltuvuustutkimusta Imatran Voiman toimiessa konsulttina. Tähänastiset tulokset eivät kuitenkaan ole kovin rohkaisevia.

Ydinvoimaan ja polttoainekiertoon kohdistuvan ohjelman puitteissa laaditaan myös erilaisia muita selvityksiä ja julkaitaan käsi- ja ohjekirjoja. Näistä mainittakoon ydinvoimalaitoksia ja niiden käyttöä koskeva tietokanta PRIS (Power Reactor Information System) ja maail-



IAEA:n hallintoneuvoston kokous.

15m), ydinturvallisuus ja säteilysuojelu (USD 10m), ydintekniset menetelmät (USD 26m) ja safeguardit (USD 65m). Budjetin loppusumma on 192 milj. USD. Lisäksi IAEA:lla on teknisen avun ja yhteistyön ohjelma, joka rahoitetaan vapaaehtoisilla avustuksilla. Sen suuruus vuonna 1990 oli noin 60 milj. USD. Tämä ohjelma sisältää suuren joukon erilaisia maakohtaisia projekteja, harjoituskursseja ja stipendejä. Noin 2/3 kohdistuu ydinteknisien menetelmien käyttöön maataloudessa, lääketieteessä, teollisuudessa ja hydrologiassa lopun kohdistuessa lähinnä säteilysuojeluun, uraanin etsintään ja ydinvoimaohjelmien valmisteluun.

### Ydinvoiman edistäminen

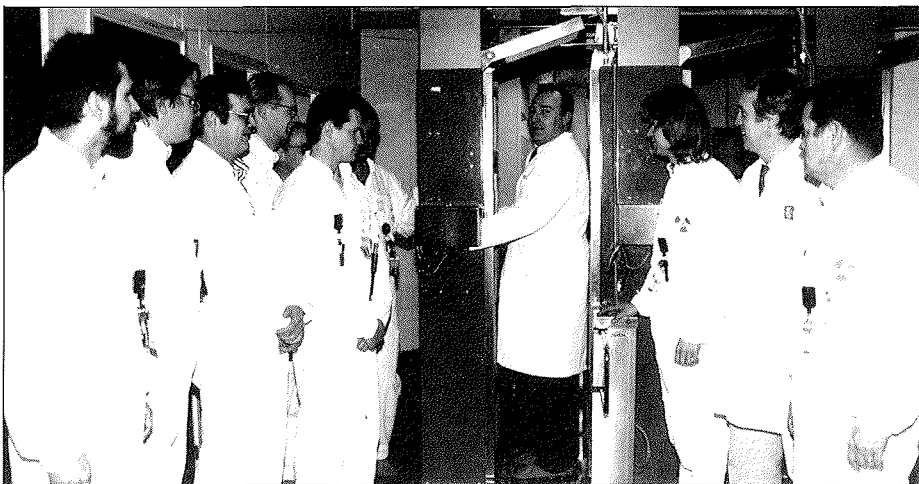
Toiminnan alkuaikoina tehtiin ydinvoiman käyttöä koskevia selvityksiä ja soveltuvuustutkimuksia, joiden kohteena olivat erityisesti kehitysmaat. Näistä mainittakoon pieniä ja keskisuuria reaktoreita ja suolanpoistolaitoksiin soveltuvia reaktoreita koskevat projektit, jotka eivät

man uraanivaroja koskeva ns. "Punainen kirja".

Toimintaan liittyy runsaasti asiantuntijakokouksia, symposioita ja konferensseja. Viime aikoina on kiinnitetty huomiota eräisiin, lähinnä ydinvoimalaitosten suunnittelua ja rakentamista koskeviin ohjelmakohtiin, jotka eivät enää näytä riittävän korkeatasoisilta, tai joiden toteuttamiseen vaaditaan kaupallista tietoa.

### Korkean turvallisuustason ylläpitäminen on parasta ydinvoiman edistämistä

Ydinturvallisuusohjelman puitteissa on laadittu ja jatkuvasti uudistetaan erilaisia sääntöjä, ohjeita ja standardeja. Ensimmäiset IAEA:n laatimat turvallisuusstandardit, samoin kuin radioaktiivisten aineiden kuljetusmääräykset julkaistiin jo 1960-luvun alussa. Ns. NUSS-standardit ovat tällä hetkellä tunnetuimmat ja ne koskevat käytännöllisesti katsoen kaik-



IAEA:n toimintaa käytännössä. Loviisan voimalaitoksen säteilysuojelun tarkastaja Juan Canovas OSART-tarkastuksessa talvella 1990 suomalaisten säteilyvalvojien ympäröimänä.

kea, mikä liittyy ydinvoiman rakentamiseen ja käyttöön.

Ohjelma sai Tshernobylin jälkeen runsaasti uusia piirteitä. Ryhdyttiin keskittymään tärkeäksi havaittuihin kohteisiin. Kansallisten turvallisuusmääräysten ja organisaatioiden tärkeys tiedostettiin uudella tavalla. Esimerkkinä voidaan mainita teollisuusmaiden aikaisemmin väheksymien OSART (Operational Safety Review Team) ja ASSET (Assessment of Significant Safety Events Team) toimintojen arvostuksen nousu, ja lukuisat maat ovat kutsuneet kansainvälisiä asiantuntijaryhmiä ydinvoimalaitoksilleen.

Välttämättä Tshernobylin jälkeen laadittiin yleissopimukset ydinonnettomuuksista ilmoittamisesta ja niissä annettavasta hätäavusta. Näiden sopimusten puitteissa toimii IAEA:ssa ympärivuorokautinen päivystysjärjestelmä, joka käyttää hyväkseen Maailman Meteorologisen Järjestön (WMO) yhteysverkkoa.

Viime toukokuussa saatiin päätökseen laaja kansainvälinen projekti, jonka puitteissa selvitettiin Tshernobylin radiologisia seurauksia. Parhaillaan on käynnissä vanhojen VVER-reaktoreiden turvallisuutta selvittävä projekti, jonka toteuttamista varten Suomi on asettanut useita asiantuntijoita IAEA:n käyttöön.

Pääjohtajan neuvonantajana ydinturvallisuusasioissa toimii kansainvälinen asiantuntijaryhmä INSAG, jonka ensimmäisenä puheenjohtajana ja monivuotisena jäsenenä on ollut Säteilyturvakeskuksen pääjohtaja Antti Vuorinen.

### Radioisotooppien ja säteilyn käyttö viehättää kehitysmaita

IAEA:n ydinteknisten menetelmien edistämistä koskeva ohjelma on Suomessa vähemmän tunnettu. Ohjelma koskee radioisotooppien ja säteilyn käyttöä eri aloilla. Viime aikoina, lähinnä nollakalvobudjetista keskusteltaessa on tullut esille kysymys ohjelman ajankohtaisuudesta, kun monet ydintekniset menetelmät on korvattu uudemmalla tekniikalla. Kun

kehitysmaat pitävät tätä ohjelmaa erittäin tärkeänä, eivät teollisuusmaat ole toistaiseksi halunneet siihen puuttua.

### Safeguards-toiminta on tärkeintä, mutta onko se tarpeeksi tehokasta?

Kuten alussa mainittiin, on IAEA:n huolehdittava siitä, ettei sen antamaa apua käytetä sotilaallisiin tarkoituksiin. Jo 1960-luvun alussa laadittiin valvonta- eli safeguards-järjestelmä, joka perustuu asiakirjan INFCIRC/66 Rev. 2 mukaisesti, IAEA:n ja asianomaisen maan välisiin valvontasopimuksiin. Nämä sopimukset kohdistuvat tarkasti määriteltyihin laitoksiin, joiden rakentamista IAEA on auttanut tai jos toimittajamaa on tällaista sopimusta vaatinut. Valvonnan kohteena olevassa maassa saattaa olla muita laitoksia, joita valvonta ei koske. Näin on mm. Argentiinassa, Brasiliassa, Etelä-Afrikassa, Intiassa, Israelissa ja Pakistanissa.

Safeguards-toiminta laajeni ratkaisevasti vuoden 1970 jälkeen, kun ydinsulkusopimus (NPT) tuli voimaan. Sopimuksen mukaan on siihen liittyneen maan tehtävä IAEA:n kanssa valvontasopimus, joka koskee kaikkea kyseisessä valtiossa olevaa lähtö- ja halkeamiskelpoista ainetta. Suomi näytteli ratkaisevaa osaa tämän valvontasopimuksen laatimisessa. Haluttiin, että Ison-Britannian, Neuvostoliiton, Ruotsin ja Yhdysvaltojen kanssa solmituissa bilateraaliosopimuksissa edellytetty valvonta siirretään IAEA:lle. Tässä tarkoituksessa laadittiin yhdessä IAEA:n sihteeristön kanssa sopimusluonnos. Tämä luonnos tuli sitten ns. Waldheimin komitean työn pohjaksi sen valmistautuessa lopullista sopimusmallia. Sopimus tunnetaan nimellä INFCIRC/153.

Safeguards-toimintaan liittyy se oleellinen piirre, että se perustuu kyseisen maan omaan tahtoon ja vapaaehtoisesti tehtyyn sopimukseen. Kyseinen maa ilmoittaa laitoksensa ja hyväksyy niin tarkastajan henkilön kuin tarkastusajankohdankin. IAEA:n tarkastajan tehtävänä on verifioida, että kansallinen valvonta ja siihen

liittyvä materiaalikirjanpito ovat kunnossa. Valvonnan toteuttamista varten IAEA asentaa laitoksille mm. videokameroita ja sinettejä. Kysymyksessä on itse asiassa IAEA:n suorittama palvelutehtävä, jonka tarkoituksena on mm. uskottavuuden lisääminen; monessa maassa ei ydinvoiman rakentaminen olisi mahdollista ilman safeguardeja.

### Irakin tapaus johtaa safeguards-järjestelmän uudelleenarviointiin

Irakin tapaus toi tähän toimintaan aivan uusia piirteitä. Turvaneuvoston päätöksen mukaisesti IAEA:n on paikallistettava kaikki maassa oleva ydinmateriaali ja polttoainekiertoon liittyvät laitokset, ja hävitettävä tai siirrettävä ne pois maasta. Tässä toiminnassa on piirteitä aseriisuntasopimuksiin liittyvistä valvontajärjestelmistä, jotka antavat valvojille huomattavia poliisioikeuksia.

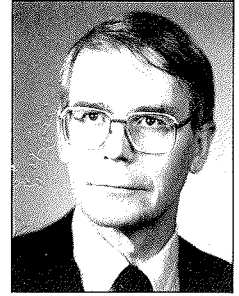
IAEA:n toiminta Irakissa on ollut melko työlästä, mutta se on kuitenkin onnistunut paljastamaan useita laitoksia ja ydinmateriaalia, joita ei ollut ilmoitettu järjestölle. IAEA:n hallintoneuvosto totesi heinäkuussa 1991 pitämässään kokouksessa, ettei Irak ole noudattanut IAEA:n kanssa tehtyä valvontasopimusta, ja päätti ilmoittaa asiasta YK:n turvaneuvostolle ja yleiskokoukselle. Tapausta on pidettävä erittäin vakavana, koska se vaikuttaa NTP-järjestelmän uskottavuuteen. Epäilemättä asiasta tullaan perusteellisesti keskustelemaan ydinsulkusopimusta tukevien maiden taholla.

### Pukkiko kaalimaan vartijana?

Ydinvoiman vastustajat vähättelevät yleensä IAEA:n antamaa informaatiota, koska se on heidän käsityksensä mukaan manipuloitu palvelemaan ydinvoiman edistämistä hintaan mihin tahansa. Tässä yhteydessä on syytä muistaa, että IAEA perustettiin edistämään atomienenergian käyttöä nimenomaan rauhanomaisiin tarkoituksiin ja huolehtimaan siitä, ettei sen antamaa apua käytetä sotilaallisiin tarkoituksiin. Eihän tällaista järjestöä tarvita pelkästään jonkin teknologian käytön edistämiseksi sinänsä. Huomioon ottaen kaiken tekniikan nopean kehittymisen sellainen toiminta ei olisi mielekästäkään. IAEA:n tehtävänä on luoda edellytyksiä siihen, että ydinenergia voidaan ottaa huomioon muiden vaihtoehtojen ohella. Käytön turvallisuuden ja ydinaseiden leviämisen estämiseen liittyvä toiminta tähtää perusedellytysten luomiseen. IAEA:n roolista puhuttaessa on syytä muistaa, että se on jäsenmaiden palvelija, ja että vastuu kaikesta toiminnasta kuuluu viime kädessä jäsenmaille. Tästä syystä eivät valvontaan ja edistämiseen liittyvät toimet ole ristiriidassa keskenään. □

DI Martti Mutru on erityisasiantuntija Suomen Suurlähetystössä Wienissä. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1971 ja oli Seuran johtokunnassa vuosina 1972-1974 ja varapuheenjohtaja vuonna 1974.  
Puh. 990-43222-531590.





# Säteilyturvakeskus valvoo ydinvoiman turvallisuutta

*Säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuustyöllä on jo lähes neljännesvuosisadan perinteet. Hyvän perustan on luonut jo aiemmin käynnistynyt säteilyn käytön valvonta. Keskuksen tehtäväkenttä on laajentunut nopeasti kolmen vuosikymmenen aikana, ja pienestä tutkimuslaitoksesta on kasvanut säteily- ja ydinturvallisuusalan asiantuntijaviranomainen, jolla on vakiintunut asema osana suomalaista hallintokoneistoa sekä laajat kansainväliset yhteydet. Ensimmäisen perustehävän, säteilyn käytön valvonnan rinnalle ovat tulleet ydinennergian käytön valvonta, valtakunnallinen säteilyvalvonta ja valmiustoiminta, ionisoimattoman säteilyn valvonta sekä säteilybiologinen tutkimus.*



Säteilyfysiikanlaitos ottaa näytteitä pohjaeliöistä kesällä 1968.

Tämän päivän suomalainen ydinturvallisuusvalvonta on kahdenkymmenen vuoden kehityksen tulosta. Siihen on ollut vaikuttamassa sekä omakohtainen kokemus että laaja ja syvälinen jatkuva kansainvälinen yhteistyö.

Ei ole olemassa mitään patenttiratkaisua, joka olisi hyvä joka tilanteessa. On vain sitouduttava pyrkimykseen kohti hyvää. Tämä sitoutuminen merkitsee kehityksen välttämättömyyden tunnustamista. Pysähtyminen tämän päivän hyvään tulokseen saattaa huomenna johtaa ala-arvoiseen tulokseen. Perusongelmaa, kuinka hyvä on riittävän hyvä, pohditaan tässä lehdesssä toisessa kirjoituksessa. Totean siitä vain sen, että se on ollut ja varmaan on vastaisuudessakin ydinlaitosten rakentamisen ja käyttövalvonnan peruskysymyksiä, jossa mielipiteet ovat käyneet ristiin.

Ydinvoimaloiden käyttöä ei voida tehdä absoluuttisen turvalliseksi. Nykyiset ratkaisut ovat tiettyjä teknis-taloudellisia kompromisseja. Turvallisuutta voidaan lähes rajatta parantaa. Sama pätee ydinjätteiden loppusijoitukseen.

Säteilyturvakeskuksen turvallisuusvalvonnan tavoitteena on varmistua, että ydinlaitoksia käytetään asetettujen turvalli-

suusvaatimusten mukaisesti. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että parhaat käytettävissä olevat asiantuntijat (sekä voimayhtiöissä että viranomaistoiminnassa) varmistuvat käyttöturvallisuuden säilymisestä sellaisena, että vakavilta onnettomuuksilta vältytään.

## Ydinvoimalaitosten käyttövalvonta

Turvallisen ydinennergian tuottamiselle on eräitä perusedellytyksiä, joista ei voida tinkiä. Tärkeimmät näistä ovat seuraavat:

- 1 Laitoksen perusratkaisussa on turvallisuus otettava riittävästi huomioon.
- 2 Laitoksen käyttäjän on tunnettava laitos ja osattava käyttää sitä laitoksen ominaisuudet huomioonottaen.
- 3 Laitos ei saa olla liian vaativa. Laitoksen käyttäjien ei tarvitse olla yli-ihmisiä.
- 4 Laitoksen käytössä edellytetään kehittynyttä turvallisuuskulttuuria.
- 5 Valvontaviranomaisen on tunnettava valvonnan kohteena olevat laitokset.
- 6 Valvontaviranomaisen on tunnettava käyttäjien suoritustaso.

7 Valvontaviranomaisen on voitava luottaa valvottavaan.

8 Valvontaviranomaiselta edellytetään asiantuntemusta, korkeata moraalia ja syvällisesti omaksuttua turvallisuuskulttuuria.

9 Valvontaviranomaisella tulee olla riittävä päätösvalta ja riittävät resurssit.

10 Ydinennergian hyväksyttävyyden edellytyksenä on kehittynyt turvallisuuskulttuuri korkeimmilla asioista päättävillä tasoilla.

Tällaisia luetteloita voidaan luonnollisesti laatia erilaisia riippuen siitä, miltä kannalta asioita katsotaan. Kehittyvällä turvallisuussektorilla eri kohdat painottuvat eri tavoin. Näin esitetty järjestys ei ole asioiden tärkeysjärjestys, kaikki yksityiskohdat ovat tärkeitä.

Luettelon kahdeksan ensimmäistä kohtaa ovat viranomaisvalvonnan suoranaisena kohteena. Kohta yhdeksän vaikuttaa ratkaisevasti valvontamahdollisuuksiin. Kohta kymmenen saattaa jonkun mielestä olla kaukaa haettu, mutta asiaan vihkiytyneistä monei ovat valmiit asettamaan tämän luettelon tärkeimmäksi edellytykseksi. Tässä kohdassa tarkoitetaan sekä voi-

mayhtiöiden että valtionhallinnon päättäviä tasoja. Säteilyturvakeskuksella on mahdollisuudet ja velvoitteetkin valvoa voimayhtiöitä. Valtionhallinnon päätöksentekotasoa aistitaan eri tavoin ja sillä on tärkeä vaikutus ylläpidettävään turvallisuuskulttuuriin.

### Turvallisuusvalvonnan kehittyminen

Perusta säteily- ja ydinturvallisuustyölle kehitettiin 1950-luvulla. Suurvalloissa tapahtuneeseen kehitykseen ja Genevessä pidettyihin atomikonferensseihin liittyen nähtiin Suomessakin tarpeelliseksi perustaa vankalle pohjalle säteily- ja atomiturvallisuushallinto. Näiden kahden asian toisiinsa nivoutuminen oli ymmärrettävää atomivoimaan liittyvän isotooppituotannon kautta. Muutoin yleensä kaikkialla mainitut kaksi aluetta pidettiin erillisinä.

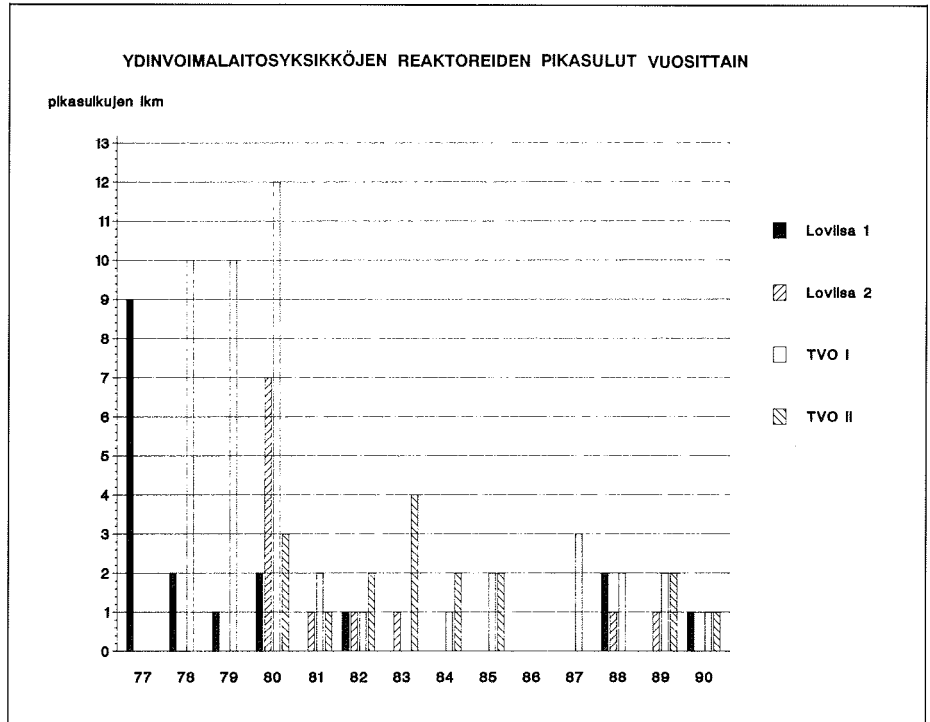
Määrätietoisen valmistelun tuloksena syntyi vuonna 1957 kaksi lakia: laki säteily-suojauksesta ja atomienergalaki. Molemmat olivat ilmeisen onnistuneita koska ne hyvin täyttivät tarkoituksensa kolmen vuosikymmenen ajan. Laki säteilysuojauksesta edellytti keskitetyn säteilyvalvonnan järjestämistä, säteilyfysiikan laitoksen perustamista.

Säteilyturvallisuusvalvonnan pääkohteena oli alkutaipaleella säteilyn tarkoituksellisen käytön turvallisuudesta varmistuminen. Toimenkuva laajeni kuitenkin varsin pian sisältämään ihmisen elinympäristön säteilyturvallisuuden. Tämä oli seurausta ilmakehässä tehtyjen ydinasekokeiden radioaktiivisen laskeuman seurantarpeesta ja merkityksen arviointitarpeesta. Ydineergian Suomeen tulo stimuloi säteilyviranomaisen uuteen kehitysvaiheeseen, jota on jatkunut näihin päiviin saakka.

Säteilyturvallisuustyön ponnistus pohja Suomessa on selkeä ja vankka. Moni asia on vuosien saatossa muuttunut. Hyvin valmisteltuun perustaan nojautuva toiminta-ajatus säteilyturvallisuustyössä on kuitenkin sisällöltään muuttumaton. Säteilyn aiheuttamien terveydellisten vaikutusten estäminen ja rajoittaminen ovat olleet ja ovat edelleen se tavoite, jonka puolesta työskennellään. Termi säteily on viranomaisisällöltään laajentunut ja käsitteet säteilyn aiheuttamista terveysriskeistä kehittyneet.

### Ensimmäinen vuosikymmen

Säteilyfysiikan laitoksen käynnistyttyä vuonna 1958 säteilyn lääkinällisen käy-



tön turvallisuudesta varmistuminen oli keskeinen työalue. Tämä edellytti syvälistä ymmärtämystä säteilyn mittaustekniikasta, mikä sitten johtikin mittanormaalityöintään.

Ihmisen elinympäristöä uhkaavien atomipommikokeiden vähentyessä säteilyvalvonnan piiriin tuli ”atomilaitokset”. Ensimmäinen otettiin käyttöön tutkimusreaktori vuonna 1962 ja muutaman vuoden kuluttua ryhdyttiin maahamme puuhaamaan atomivoimalaitosta.

Otaniemen tutkimusreaktorin turvallisuusvalvonnan alkuvuosina muuallakin maailmassa toteutettu jako säteilysuojelu- ja ydinturvallisuusasioihin toteutui meilläkin. Säteilysuojeluasioissa (Health Physics) säteilyfysiikan laitoksella oli toimialansa. Ydinturvallisuusasiat (Nuclear Safety) nähtiin erilliskysymyksenä. Tätä valvontaa varten kauppa- ja teollisuusministeriö rekrytoi ”reaktoritarkastajan” Ekonosta (Olavi Vapaavuori). Monessa maassa ydinturvallisuusasiat pidettiin niin erillään säteilysuojeluasioista, että asioita hoitavilla organisaatioilla ei juuri käytännön yhteyksiä ollut.

Kun Suomessa ”puuhastelut” atomivoimalaitoshankinnassa näyttivät 1960-luvun loppupuolella johtavan tositoimiin, atomienergieneuvottelukunta ja säteilysuojeluasiasiain neuvottelukunta perustivat yh-

teisen työjaoston, jossa nämä kaksi, muualla maailmassa toisilleen niin vierasta koulukuntaa kohtasivat toisensa. Tähän liittyen kauppa- ja teollisuusministeriö vuonna 1968 näki hyväksi ruveta kehittämään ydinturvallisuusekspertiisiä säteilyfysiikan laitokseen. Tämän ennakkoluulottoman päätöksen toteutumisesta ansio lankeaa Suomen atomienergian nestorille akateemikko Erkki Laurilalle.

Kuluneiden runsaan kahdenkymmenen vuoden aikana ulkopuolelta kuului asiasta yleensä ensimmäisen vuosikymmenen aikana epäilevää ihmetystä, ja jälkimmäisen vuosikymmenen aikana päinvastaisia reaktioita. Tehty päätös osoitti kuitenkin luottamusta kotimaisiin asiantuntijoihin, jotka vielä siinä vaiheessa olivat varsin kokemattomia.

Säteilyfysiikan laitoksen alkuhistoriassa oli jo joitakin mielenkiintoisia kosketuksia kansainväliseen atomipolitiikkaan. Tässä niistä mainittakoon vain yksi sen vuoksi, että viime vuonna koettiin sen eräänlainen toisinto. Amerikkalaisen NS Savannah’n (NS = Nuclear Ship) vierailua valmisteltiin kuumeisella kiireellä jo 1960-luvulla, mutta sen tulo pysähtyi Tanskan salmiin ja täällä asia jäi ratkaisemattomaksi. Viime vuonna neuvostoliittolaisten jänsärkijöiden tulovalmistelu Vuosaaren satamaan keskeytyi ja ne pur-



jehtivat vähin äänin Tanskan salmien kautta laajemmille vesille.

### Ydinvoiman rakentaminen Suomeen

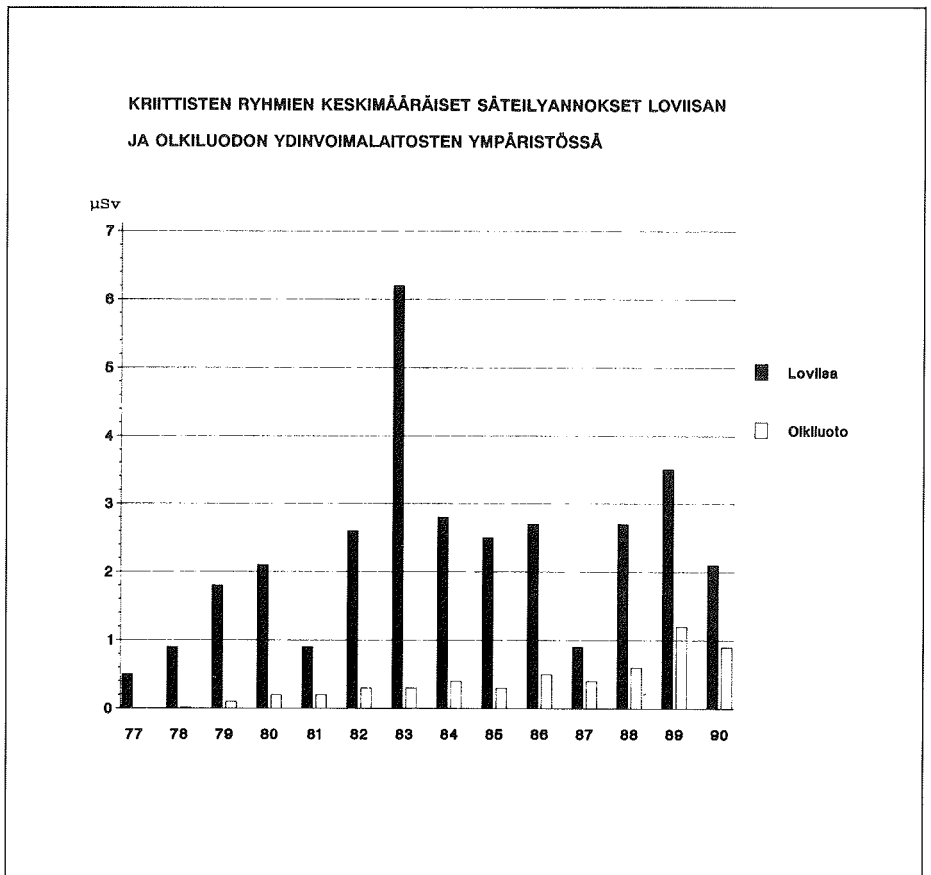
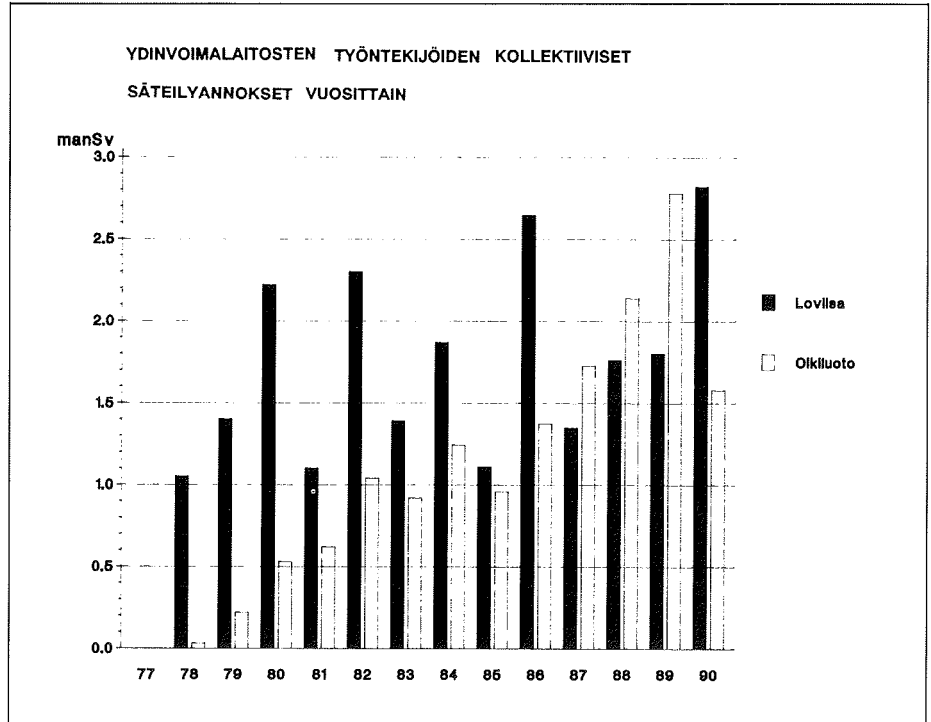
Ydinvoiman tulon oli Suomessa varauduttu akateemisen tason koulutuksessa ja Imatran Voima Oy:n sekä varsin merkittävästi myös muun suomalaisen teollisuuden toimesta. Viranomaisvalmiuksia henkilötasolla ruvettiinkin kehittämään, kun päätös rakentamisesta näytti olevan käsillä.

Sellaisenaan sovellettavaa mallia suomalaiselle valvontakäytännölle ei löytynyt. Käytettävissä oleva kokemus oli lähinnä peräisin niistä maista, joissa oma teollisuus on toteuttajana. Harvat esimerkit toimituksista toisiin maihin viittasivat alkuperämaan turvallisuuskannan noudattamiseen sellaisenaan. Poikkeuksena oli vuonna 1965 käynnistynyt Sveitsin projekti, jonka yhteydessä asetetuista lisävaatimuksista oli kovin vaikea saada tietoja.

Suomalaisen ydinturvallisuustyön turvallisuustavoitteiden perusideaa kehitettiin professori Pekka Jauhon johtamassa työryhmässä. Tämän työn yhteydessä lähinnä muotoiltiin suomalaisittain uuteen muotoon englantilaisen Fred Farmer'n vuonna 1962 IAEA:n järjestämässä "Containment and Siting of Nuclear Power Plants" konferenssissa esittämä kriteeri. Ainoana vankkana lähtökohtana teknillisten vaatimusten kehittämisessä nähtiin amerikkalaisten viranomaisten (silloinen AEC, nykyinen NRC) alunperin 70 kriteeriä, jotka itse asiassa sisälsivät siinä vaiheessa 64 eriteltyä vaatimusta.

Tässä vaiheessa myös kokemuksia haettiin ja saatiin myös pohjoismaisilta, erityisesti ruotsalaisilta, kollegoilta.

Rauhallinen valmisteluvaihe jäi säteilyfyysiikan laitoksessa peräti lyhyeksi. Yhtäkkiä oltiin tekemisissä todellisen projektin kanssa. Valmistelu-aika oli kuitenkin riittävä määrätietoisuuden suomalaisen linjan kehittämiseksi. Tämä merkitsi paljon työtä, hiekkä, ehkä joskus väsymyksestä kyyneleitäkin—olipa tunnelma ajoittain jopa vertahtava. Suomalainen ydinteknillinen insinööri-tietous oli alkuvuosina lähinnä teollisuuden käytössä. Viranomaislinjan kehittämisessä läheinen luottamuksellinen kontakti oli välttämätön. Nähtiin



kuitenkin, että oli työskenneltävä omin ehdoin.

Loviisan voimalaitoksen rakentamisen päästyä hyvään vauhtiin käynnistyi Teollisuuden Voima Oy:n Olkiluodon projekti. Suomalainen linja oli alkuvaiheessa hämmästyksen aihe myös ruotsalaiselle laitostoimittajalle Asea Atom Ab:lle. Kuitenkin alkusäikähdyksestä selvittyään ruotsalaiset asiantuntijat olivat valmiit myöntämään järjestelmämme tarkoituksenmukaiseksi ja asialliseksi. Järjestelmämme oli uutta, kun ruotsalaisen linjan mukaista oli pitkään selvittää asiat lähinnä keskusteluin.

### Voimassa olevien YVL-ohjeiden lukumäärä

Yleiset ohjeet	11
Järjestelmät	8
Paineastiat	8
Rakennustekniikka	3
Muut rakenteet ja laitteet	5
Ydinmateriaali	9
Säteilysuojelu	14
Ydinjätehuolto	2
<b>Yhteensä</b>	<b>60</b>

## YDINVOIMALAITOSTEN VALVONTA

Säteilyturvakeskuksen suorittaman valvonnan ja tarkastustoiminnan kohteet ovat seuraavat (suluissa mainittujen lupien myöntämistä suositellaan, kun mitään luvan epäämisen aiheuttavaa syytä ei ole tarkastuksissa todettu):

### Rakentamisvaihe:

- Ydinlaitosta koskevat alustavat suunnitelmat
- Laitoksen sijaintipaikka ja ympäristövaikutukset
- Ydinpolttoaine- ja ydinjätehuollon järjestäminen (Periaatepäätös)
- Alustava turvallisuusseloste laitoksen suunnitellusta rakenteesta ja toiminnasta sekä alustavat turvallisuusanalyysit
- Laitteiden ja rakenteiden turvallisuusluokittelu
- Laadunvarmistussuunnitelma
- Ydinpolttoaine- ja ydinjätehuoltoa koskevat suunnitelmat
- Turva- ja valmiusjärjestelyt (Rakentamislupa)
- Laitteiden ja rakenteiden rakennesuunnitelmat, valmistajat, lopullinen rakenne ja asennus paikoilleen
- Järjestelmien toimintakoheet
- Lopullinen turvallisuusseloste laitoksen rakenteesta ja toiminnasta ja lopulliset turvallisuusanalyysit
- Käyttöorganisaatio ja sen pätevyys
- Turvallisuustekniset käyttöehdot
- Ydinpolttoainehuolto ja ydinmateriaalivalvonta
- Ydinjätehuollon menetelmät
- Turva- ja valmiusjärjestelyt (Käyttölupa)

### Käyttövaihe:

- Koekäyttö eri tehotasoilla
- Laitteiden ja rakenteiden kunnossapito, tarkastukset ja testaukset
- Järjestelmien ja koko laitoksen käyttö
- Käyttöorganisaation toiminta ja pätevyys
- Poikkeukselliset käyttötapaukset
- Korjaus- ja muutostyöt
- Uudet polttoainelataukset
- Ydinpolttoainehuolto ja ydinmateriaalivalvonta
- Ydinjätehuolto
- Säteilysuojelu ja ympäristön turvallisuus
- Turva- ja valmiusjärjestelyt
- Laadunvarmistusohjelman noudattaminen

Säteily- ja ydinturvallisuuden integraatiosta kokemukset ovat yksinomaan myönteisiä. Erityisesti luvanhakijan ja heidän toimittajiensa taholla on nähty myönteisenä mahdollisuus selvittää toisiinsa nivoutuvat säteily- ja ydinturvallisuusasiat yhden viranomaisen kanssa.

Loviisan ja Olkiluodon laitosten rakentaminen osittain samanaikaisesti nopeassa tahdissa oli prosessi, jossa käytännön liiskokokemuksesta olisi ollut hyötyä. Se olisi erityisesti Loviisassa saattanut vähentää myöhemmin toteutetuissa parannuksissa tarvittavia resursseja. Tämä on kuitenkin vain spekulointia.

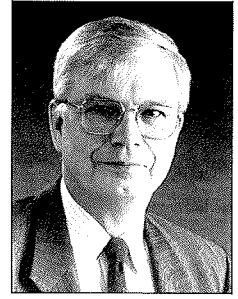
Ydinvoimalaitosten rakentamisessa muutkin turvallisuusasiat kuin säteily- ja ydinturvallisuusasiat ovat tärkeitä. Suurilla rakennustyömailla ja työpaikoissa työ- ja palosuojeluasiat ovat vaativia ja edellyttävät monenlaisia kannanottoja ja valvontaa. Viranomaisten yhteistoiminta näissä asioissa on säteilyturvakeskuksessa koettu myönteisenä. Erityisesti alkuvaiheessa säteilyturvakeskuksen tarkastustoiminta sai arvokasta kokemusta suomalaiselta paineastioiden tarkastuslaitokselta.

Voimalaitosprojektien lähestyessä valmistusvaihetta uusia työkenttiä tuli esiin. Tärkeimmät näistä olivat ydinmateriaalivalvonta, fyysinen suojaus sekä valmiustoiminta ja pelastuspalvelu. Näiden sijoittuminen viranomaisvastuun osalta edellytti määrittelyä.

Ydinmateriaalivalvonta on niin poliittisävytteinen lähtökohdiltaan, että kesti turhankin kauan ennenkuin ministeritasolla nähtiin mahdolliseksi delegoida valvonnan toteuttaminen säteilyturvakeskukselle.

Ennen ydinlaitosten käyntiinlähtöä asioista kuitenkin oli sovittu ja kokonaisuutena ne muodostivat laajan tehtäväverkon. Kokonaisuus on säteilyturvakeskuksen käsissä, mutta toteuttamisen osa-alueisiin osallistuu merkittäväällä tavalla useita ministeriöitä ja viranomaisia. □

Professori Antti Vuorinen on säteilyturvakeskuksen pääjohtaja. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1967 ja oli Seuran johtokunnassa vuosina 1968-1970 ja rahastonhoitajana vuosina 1969-1970. Puh. 90-70821.



# Miten nuoret insinöörit oppivat rakentamaan ydinlaitoksen

*Loviisan laitos oli Suomen ensimmäinen ja sen suomalaisen osuuden ja projektin kokonaiskoordinoinnin toteuttivat hyvin nuoret ja ydinvoimakokemusta omaamattomat innokkaat insinöörit. Se oli hyvin haasteellinen tehtävä sekä tekniikkansa että kansainvälisyytensä vuoksi, ja se onnistui erittäin hyvin.*

*Loviisan sopimuksen allekirjoitus Moskovassa 9.6.1970. Istumassa Alajoki, Lehtonen, Technopromexportin presidentti Maklakov ja varapresidentti Driving. Lehtosen takana Santaholma koettaa varmistaa, että nimet tulevat oikeaan paikkaan.*



Ydinvoiman alkuhistoria Suomessa ja ensimmäisen ydinvoimalaitoksen rakentaminen Loviisaan oli jännittävää pioneeriaikaa Suomen energiataloudessa ja työhön osallistuneiden nuorten, mutta sitäkin innokkaampien insinöörien elämässä. Olin itse yksi noista nuorista ja innokkaista ja koetan seuraavassa kuvalla niitä tunteja joita silloisilla silmillä koin, aluksi ”isojen poikien” monimutkaisia edesottamuksia seurattessani ja sittemmin Loviisan projektia johtaessani.

## Maailman laajin tarjouskysely

Olin itse rasvanahkainen sähköinsinööri, jonka ydinvoimatuntemus perustui vapaaehtoisena Polysteekissä kuunneltuihin Jauhon ja Regnellin luentoihin ydinfysikasta ja reaktorifysikasta. Kun Imatran Voimassa alettiin suunnitella mahdollisia ydinvoimalaitoksia, komennettiin minut Kanadaan muutamaksi viikoksi opiskelemaan käytännön ydinvoimatekniikkaa Kanadan General Electricin johdolla. Olihan ajatuksena tehdä Suomeenkin luonnonuraanireaktori, joka käyttäisi kotimaista polttoainetta.

Vuoden 1965 aikana pääsin laajentamaan alan opintoja osallistumalla ”maailman laajimman tarjouskyselyn” kirjoittamiseen, tarjousten analyysiin ja neuvotteluihin eri tarjoajien kanssa. Tarjoukset olivat hyvin eri tasoisia, saksalaisten täydellisimmästä, puoli hyllymetriä sisältäneestä tarjouksesta neuvostoliittolaisten viisi-

sivuisen tarjoukseen. Englantilaista Magnoxia ja neuvostoliittolaista RBMK-tyyppistä reaktoria lukuun ottamatta tarjouskilpailussa olivat mukana käytännöllisesti katsoen kaikki maailman reaktori-toimittajat, kaikkiaan 11 eri tarjousta. Tarjouksien lukeminen oli erinomainen koulu oppia eri maiden reaktoritekniikan, turvallisuustekniikan ja ydinvoimalaitostekniikan hienoudet.

Tarjouskyselyissä oli vaadittu kultakin tarjoajalta asianomaisen maan ”viimeisintä turvallisuustekniikkaa”. Tarjouksia lukemalla oli luonnollista, että meihin kaikkiin ”nuoriin innokkaisiin” tarttui länsimainen korkea turvallisuusideologia.

Ensimmäisen kontaktimme neuvostoliittolaiseen ydintekniikkaan saimme maaliskuussa 1966, kun ”nuorisojoukkue” akateemikko Laurilan johdolla teki pitkän kiertomatkan Neuvostoliiton ydintieteellisiin laitoksiin ja Novo Voroneshin ydinvoimalaitokseen. Sillä matkalla saimme käsityksen, että Neuvostoliiton ydintiede oli erittäin edistyneistä, mutta sovellutukset käytännössä aika kaukana länsimaisesta tasosta, ennen kaikkea turvallisuusvaatimusten osalta.

Tämän matkan aikana käytännössä perustettiin myös Atomiteknillinen Seura, kun pitkällä junamatkoilla pohdimme sitä, miten eri aloilta tulleitten insinöörien keskuuteen voitaisiin luoda suomalainen kansallinen ydinteknillinen osaaminen.

Muodollisesti seuran perustava kokous pidettiin pian matkan jälkeen Helsingissä.

Kesti kuitenkin kauan, ennen kuin päästiin käytännön työhön. Matkoja eri maihin ja niiden reaktori- ja ydinvoimalaitostekniikkaan tutustumiseen oli paljon ja niinä aikoina nuorten innokkaiden insinöörien joukko vähitellen kehittyi hyvin monipuoliseksi ydinvoimalaitostekniikan asiantuntijaksi.

Tarjouskierroksia oli useita, ja kierros kierrokselta kirjoittamamme spesifikaatiot paranivat. Olimme ylpeitä, kun ainakin tarjoajat kehuivat spesifikaatioitamme parhaiksi mitä olivat siihen mennessä koskaan potentiaalisilta tilaajilta saaneet. Kansainvälisiä tarjouskyselyitä 1960-luvulla oli vielä maailmassa hyvin vähän, valtaosa reaktoreista oli tehty kotimaisen tilaajan ja toimittajan yhteisen sopimuksen pohjalta ilman tarjouskilpailua.

Kierros kierrokselta myös neuvostoliittolaiset paransivat tarjouksensa laatua, mutta loppuun asti se jäi kauas läntisten kilpailijoiden yksityiskohtaisuudesta. Tuntui siltä, että Neuvostoliitto katsoi valtaosan laitosinformaatiosta liikesalaisuudeksi, jota ei voinut kertoa vielä tarjousvaiheessa.

Nuorten insinöörien joukko säilyi hyvin yhtenäisenä pitkään, kunnes 25.7.1968 pääministeri Koivisto ilmoitti, että ydinasiat heiluttavat hallitusta eikä hallitus

ydinvoima-asioita ja näin ollen Suomessa ydinvoiman rakentamisesta toistaiseksi luovutaan ja voiman tuotanto perustetaan kivihiihen varaan. Sen seurauksena suuri joukko insinöörejä arvioi tilanteen sellaiseksi, ettei tulevaisuutta ydinvoimalalla ole ja siirtyi muihin tehtäviin. Näiden joukossa oli esim. sittemmin muualla hyvin näyttävän uran luonut nykyinen Nesteen toimitusjohtaja, vuorineuvos Jaakko Ihamuotila. Me ”hitaammin liikkuvat” kuitenkin jäimme, teimme yhä uusia tarjouskyselyjä ja luimme tarjouksia ja pääsimme sitten lopullisiin töihin parin vuoden kuluttua, kun ”isot herrat” päättivät tilata laitoksen Neuvostoliitosta.

### Neuvostoliittolaisneuvottelut

Meille innokkaitten insinöörien joukko oli tietysti tavaton pettymys, kun mielestämme teknillisesti heikoin ratkaisu valittiin toteutettavaksi. Itsevarmuutemme oli kuitenkin tarjousvertailujen teossa lisääntynyt niin voimakkaasti, että suhteellisen pienellä aivopesulla joukko oli motivoitavissa ajatuksen: ”mehän opetamme neuvostoliittolaisille miten ydinvoimalaitokset todella rakennetaan!” Tähän intoon ei tietenkään ollut paljon realistisia perusteita, eihän kukaan meistä ollut koskaan ollut ydinvoimalaitoksia suunnittelemassa tai rakentamassa. Kellään meistä ei myöskään ollut aikaisempaa kokemusta toiminnasta sen paremmin teknillisissä kuin kaupallisissakaan Neuvostoliiton neuvotteluissa.

Neuvostoliittolaisten poliittinen tarve saada high-tech vientiä länteen oli niin suuri, että se ohitti kaupalliset intressit. Näin ollen meidän oli suhteellisen helppo suhteellisen nopeassa ajassa neuvotella kaupalliset ehdot Suomen kannalta edullisiksi. Tällä uskoimme voitavan kompensoida ne vaikeudet jotka olivat odotettavissa teknillisellä puolella.

Neuvostoliiton silloisen talousmatematiikan kehittymättömyyttä osoittaa se, että sellaiset käsitteet kuin korko tai inflaatio, puhumattakaan reaalkorosta tai nykyarvolaskennasta olivat täysin tuntemattomia vastapelureillemme. Joukkueeseemme kuulunut Antero Jahkola (sittemmin Teknillisen korkeakoulun voimalaitostekniikan professori) piti alkuneuvotteluissa lukuisia luentoja siitä, mitä talousmatematiikan perusteet sisältävät. Luultavasti asia oli niin vaikeatajuinen, että kukaan silloisista neuvotteluvastapuolista ei asiaa sisäistänyt vaan saimme aika selvästi itse sanella ehdot esim. lainasopimuksiin tai maksuehtoihin. Nykytilannetta ajatellen erikoisuutena oli silloin vahva usko ruplaan, kun se sidottiin sopimuksessa kultaantaan. Ruplan valuutta-arvon huononemista ei kumpikaan osapuoli tuntunut silloin pelkäävän.

Luulisin että länsimaiset talousmatematiiset käsitteet selvisivät neuvostoliittolaisille vasta sitten kun heidän puolensa ”nuori, innokas” ulkomaankauppainsti-



Jäälauhdutinsopimuksen allekirjoitus Helsingissä. Vasemmalta Patridge ja Enright Westinghouseelta, Lehtonen, Alajoki ja tämän kirjoittaja sekä seisomassa Santaholma, Aalto ja Regnell.

tuutista korkein arvosanoin valmistunut Oleg Davydov tuli Suomen toimistoon kaupallisia asioita hoitamaan. Hän asui Suomessa perheineen projektin alussa ensimmäiset neljä vuotta ja sinä aikana oppi perusteellisesti länsimaiset kauppatavat. Hänen kokemuksensa on Neuvostoliitossa tullut hyvään käyttöön, koska hänen urakehityksensä on ollut hyvin nopeaa, hän on värikkäissä Neuvostoliiton tilanteissa noussut tällä hetkellä koko Neuvostoliiton ulkomaankaupan ensimmäiseksi varaministeriksi.

Ensimmäiset kontaktit neuvostoliittolaiseen elämäntapaan saimme heinäkuussa 1969 käydyissä kaupallisissa neuvotteluissa, joita johtamassa oli silloinen ulkomaankauppaministeri Väinö Leskinen. Hän se opetti meille nuorille, että muistakaa, täällä venäläisissä hotelleissa seinilläkin on korvat ja näin ollen hän vei joukkueensa sisäisiin neuvotteluihin keskelle Punaista toria, jossa sisäiset neuvottelut pidettiin kuin amerikkalainen rugbyjoukkue konsanaan toisiaan kaulasta kiinni pidellen renkaassa sisäänpäin kumartaen tai Kremlin porteille pyllistäen.

Tekniikan puolella tilanne oli oleellisesti vaikeampi. Neuvostoliittolaiset insinöörit olivat omasta ammattitaidostaan varmoja ja hyvin ammattiyhteisöitä. He olivat myös iältään meitä 10...15 v vanhempia ja kaikilla oli monivuotinen kokemus ydinvoimalaitosten suunnittelusta ja rakentamisesta. Myös heidän teoreettinen koulutuksensa oli meitä korkeampi, joukossa vilisi suuri joukko akateemikkoja, professoreita, tekniikan tohtoreita jne.

Parhaiten mieleen on jäänyt ensimmäinen ja ehkä ratkaisevin teknillinen neuvottelu, joka käytiin elokuussa 1969 Moskovassa.

Silloinen IVOn varatoimitusjohtaja Pentti Alajoki oli kerännyt tusinan verran meitä nuoria IVOn, Finnatomista ja turvallisuusviranomaisista mukaansa Moskovaan ja aloitimme siellä keskustelut perusratkaisuista, joista useimmat liittyivät neuvostoliittolaisen laitoksen turvallisuuden parantamiseen.

Tärkein yksityiskohta oli se, rakennetaanko voimalaitokselle suojaakuori ja hätäjäähdytysjärjestelmä vaiko ei. Silloisessa neuvostoliittolaisessa Novo Voroneš -tyyppisessä perusratkaisussa näitä kumppaakaan ei ollut. Alajoki käski meidän näitä 10 pätevää perustelua sille, miksi nämä lisäturvallisuudet olivat välttämättömiä. Neuvostoliittolaiset vastasivat jokaiseen kysymykseen mielestään vahvojen teknillisten perusteiden, miksi näitä suojaalaitteita ei tarvittu. Seuraavana päivänä Alajoki käski meidän panna nämä samat 10 vaatimusta vähän eri järjestykseen ja eri sanoin ja ryhmästäme eri henkilöt näitä kysymyksiä esittämään. Jälleen neuvostoliittolaiset vastasivat lähes samanlaisin vastauksin kuin edellisinkin päivänä. Kolmantena päivänä jälleen muutettiin perusteluitten järjestystä ja esittäjää ja jälleen kuunneltiin vastauksia tarkkaavaisesti. Kun tätä oli jatkunut 10 päivää ja joka päivä meillä oli samat perustelut eri järjestyksessä, loppui lopulta neuvostoliittolaista joukkuetta johtaneen akateemikko Petrosiansin armenialainen kärsivällisyys ja hän löi kirjansa kannet kiinni kesken neuvottelun ja ilmoitti että noin jäärapäisten ihmisten kanssa hän ei halua olla missään tekemisissä, häipyi neuvotteluhuoneesta ja antoi puheenjohtajan valtuudet nuoremmalle varamiehelleen. Petrosians pitikin lupauksensa eikä häntä sen koommin missään Loviisaa koskevissa neuvotteluissa nähty, ennen kuin aivan projektin loppuvaiheessa.



Uusi puheenjohtaja huomasi, ettei asiassa edetä, jollei suomalaisten vaatimuksiin myönnytä ja näin vähän yli kaksi viikkoa kestäneiden jähnausten jälkeen tärkeät periaateratkaisut oli tehty. Yksityiskohtien hiominen kesti vielä useita kuukausia, niin että lopulliset sopimukset saatiin valmiiksi vasta toukokuussa 1970. Neuvostoliittolaisilla oli alkuun tavattoman vaikeata päästä neuvotteluihin Suomeen, joten valtaosa kaikista teknillisistä neuvotteluista käytiin Moskovassa tai Leningradissa. Tämän seurauksena monen suomalaisen nuoren insinööriperheen isää ei nähty kotonaan talvella 1969-70 kuin lyhyitä jaksoja.

## Ydinvoimaprojekti perustetaan

Tähän asti olin ollut yhtenä nuorena insinöörinä muiden joukossa "isojen poikien" apulaisena. Kun perusratkaisut nyt oli tehty, halusivat vanhemmat kuitenkin jättää yksityiskohtien hiomisen meille nuorille insinööreille ja Imatran Voimaan perustettiin atomiprojektiryhmä helmikuun alussa 1970. Tähänastisen elämäni suurimman mutta samalla jännittävimmän haasteen otin vastaan kun vapisevin sydämin lupauduin pyydettyä toimimaan projektiryhmän päällikkönä.

En tiedä, mikä oli Heikki Lehtosen ja Pentti Alajoen mielessä kun valitsivat jäseniä projektiryhmään, meille ei annettu firman kokeneita insinöörejä vaan valtaosa oli hyvin nuoria diplomi-insinöörejä, insinöörejä ja tekniikoita. Muutama vanha teknikko Imatran Voiman kokeneesta suunnittelukaartista annettiin kuitenkin meidän joukkoomme kontrolloimaan, ettei konventionaalisissa teknillisissä ratkaisuissa kokonaan poiketa firman yleisistä standardeista. Projektiryhmämme sai pian firmassa oravakomppanian nimen. Tämä perustui termiin, joka kuulemma sodan loppuvaiheessa annettiin suurimassa hädässä rintamalle kutsutuille alikäisten poikasten joukolle.

Suojakuori oli siis päätetty rakentaa, mutta millainen. Periaatepäätöstä tehdessämme olimme ajatelleet mielessämme länsimaisten painevesireaktoreitten standardiratkaisuna käytettyä painesuojakuorta. Tarkemmassa analyysissä kuitenkin osoittautui, että suuri osa neuvostoliittolaisista turvalaitteista ei olisi kestänyt painesuojakuoren edellyttämää 3...4 bariin ulkopuolista painetta. Lisäksi neuvostoliittolaisessa primääripiirissä oli niin paljon vettä, että suojakuoresta pienemmälle paineelle mitoitettuna olisi tullut suunnattoman suuri ja kallis.

## Läntiset yhteistyöpartnerit valitaan

Muistaakseni joukkueestamme Erkki Aalto keksi ajatuksen, että Westinghousella vasta kehitetty jäälauhdutinratkaisu voisi olla vastaus ongelmiin. Siitä vaan Pittsburghiin USA:han kysymään Westinghousen mielipidettä. Aluksi Westinghousen ylin johto piti ajatusta täysin mahdollisena: venäläisten turvallisuudesta vastaisi USA:lainen suojakuori, jonka lisäksi silloin uskottiin olevan hyvin edistykellisen ja näin ollen Westinghouse pelkäksi viisauden valuvan Neuvostoliittoon.

Neuvottelut USAssa olivat lähes neuvostoliittolaisen vaikeita, ennen kuin lupa jäälauhduttimen käyttöön saatiin.

Silloinen kaikkietävä sopimusjuristimme Juhani Santaholma sai opiskella USA:laisen sopimuskäytännön neuvostoliittolais-takin monimutkaisemman byrokratian hienoudet, ennen kuin lopullinen sopimus saatiin aikaan. Bjarne Regnell joukkueestamme ja Soinin Wärtsilästä asustivatkin sitten toista vuotta Pittsburghissa suunnittelemassa suojakuorta. Sopimuksen mukaan myös kaikki onnettomuus-analyysit tehtiin Westinghousen tietokoneella ja Westinghousen ohjelmilla. Ohjelmia ei saanut viedä Westinghousen toimituksesta pois, mutta siellä niillä sai laskea.

Venäläisten kannalta paljon helpompi oli länsimaisen automaation ja turvalaitteitten valitseminen laitokselle. Neuvostoliittolaiset alusta pitäen ymmärsivät, että heidän elektroniikkansa taso oli länsimaisiin vaatimuksiin nähden riittämätön.

Tarjousvertailujen aikana olimme huomanneet, että Siemensin ydinvoimalaitokset olivat pisimmälle automatisoituja. Tästä syntyi ajatus, että menemme Siemensiltä kysymään olisivatko he kiinnostuneita automatisoimaan venäläistä alkuperää olevan ydinvoimalaitoksen. Aluksi myös Siemensillä asiaa pidettiin täysin mahdollisena. Mieliä katkeroitti vielä hävitty tarjouskilpailu koko voimalaitoksesta.

Kun venäläistä laitosta ei ollut alunperin suunniteltu pitkälle automatisoitavaksi, arveltiin tehtävä teknisesti ylivoimaiseksi. Mukana oli jälleen myös pelko siitä, että saksalainen teknologia tätä kautta vuotaisi Neuvostoliittoon.

Lopullisen ratkaisun asiasta teki silloinen Siemensin instrumenttisektorin johtaja Karlheinz Kaske, joka sittemmin on kohonnut koko Siemens-konsernin pääjohtajaksi. Hän ilmoitti teknillisille asiantuntijoilleen, että tämän haasteen Siemens ottaa siltä kannalta, että muulle maailmalle näytetään, miten vaikeatkin automaatio-ongelmat ovat Siemensin teknologialla ratkaistavissa. Kun projekti näin sai Siemensillä ylimmän johdon siunauksen ja huomion, varmistui se, että Siemens myös jatkossa antoi projektin käyttöön kaikkein parhaimman asiantuntemuksensa myös prosessitekniikan alueelta. Westinghousen ja Siemensin yhteistyön kautta suomalaisten nuorten insinöörien kouluttaminen länsimaiseen ydinvoimateknologiaan jatkui.

Alussa Siemens mustasukkaisesti yritti pitää omat instrumenttipiirustuksensa neuvostoliittolaisten suunnittelijoiden ulottu-

mattomissa, mutta ymmärsi vihdoin, ettei sillä tavalla projektia voida hoitaa. Näin Siemensin ylimmältä johdolta tuli lopulta lupaus että kaikki piirustukset saa levittää pöydille. Taustaksi ilmoitettiin se, että kun neuvostoliittolaiset tehtaavat ovat kopioineet heidän tuotteensa, aikaa on kulunut niin paljon, että Siemensillä näiden tuotteiden valmistus on jo lopetettu ja siirrytty seuraavaan sukupolveen. Näin on myöhemmin käytännössä osoittautunut tapahtuvankin.

Neuvostoliittolaiset eivät kuitenkaan halunneet ottaa kokonaisvastuuta amerikkalaisen suojakuoren tai saksalaisen instrumentoinnin sovittamisesta neuvostoliittolaiseen prosessiin. Meidän nuorten insinöörien päätä ei kuitenkaan huimannut, vaan ilmoitimme rohkeasti ottavamme vastuun laitoksen kokonaistoiminnasta.

## Suomalaiset alihankinnat

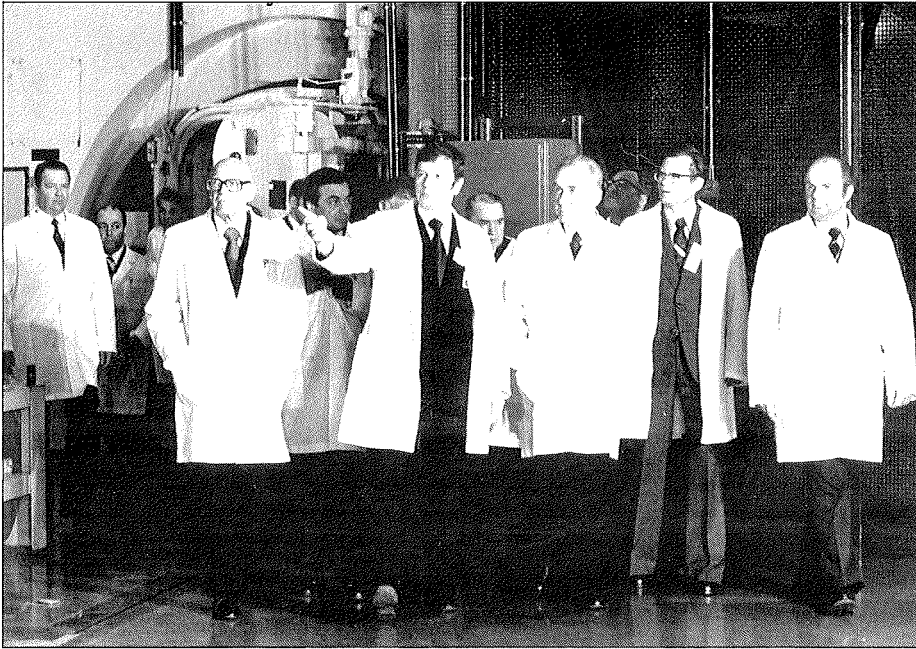
Suomen metalliteollisuus oli tietysti myös alusta lähtien mukana kaikissa neuvotteluissa. Ydinvoimalaitoksia uskottiin rakennettavan juoksevana nauhana ja niistä saatavan suomalaiselle teollisuudelle haastavia uusia tuotteita. Neuvostoliittolaisten antamat edulliset kaupalliset ehdot tekivät kuitenkin suomalaisten alihankintojen ottamisen projektiin kalliiksi. Suomalaisen teollisuuden toivelista oli hyvin pitkä, mutta tilaajana Imatran Voima ei voinut hyväksyä kovin suurta hinnannousua, jonka suuri suomalainen osuus olisi aiheuttanut.

Erotuomarina toimi jälleen "Väiski" Leskinen, joka veti punakynällä viivan Finnatomin tärkeysjärjestykseen asettamaan komponenttiliuetteloon ja sanoi: "Tuon yläpuolella olevat tavarat ostetaan Suomesta ja loput sitten jäävät neuvostoliittolaiseen toimitukseen."

Jos oli koko projekti monimutkainen ja vaikea, niin vaikeita komponentteja jäi Suomen teollisuudenkin suunniteltavaksi ja toimitettavaksi. Primäärikiertopumput, latauskone, suojakuori, radioaktiivinen ilmastointi ym olivat kaikki laitteita, joita Suomen teollisuus ei ollut aikaisemmin suunnitellut tai rakentanut ja koko teknologia tätä varten oli luotava. Suomalaiset komponentit suojakuorta lukuun ottamatta kuuluivat kuitenkin teknisesti neuvostoliittolaisten kokonaisvastuulle.

Taisivat kaikki suomalaiset alihankinnat antaa punaisia numeroita toimittajille, sen verran vaikeita ne olivat, mutta ydinvoimalaitosten edellyttämät kovat laatu- ja materiaalivaatimukset varmasti kouluttivat suomalaista teollisuutta siten, että monet spin off -vaikutukset korvasivat komponenttien toimituksesta aiheutuneet tappiot. Nils Björklund on varmasti toisaalla tässä lehdessä kertonut tarkemmin näistä näkymistä.

Toimittajien valvonta ja laatuksymykset kuuluivat sittemmin koko Loviisan kakosprojektista vastanneelle Kalervo Nurmimäelle.



Suomessa laatukysymysten saaminen teollisuuteen oli suhteellisen helppoa. Oleellisesti vaikeampaa oli saada neuvostoliittolaiset ymmärtämään laadun ja laadunvarmistuksen hienouksia. Ehdottomana vaatimuksena pidettiin projektin alusta lähtien, että suomalaisten laadun tarkastajien tulee päästä tehtaalle itse henkilökohtaisesti valvomaan laadunvarmistuksen tilaa. Tämä oli kuitenkin asia josta edes suomalaisella sitkeydellä ei päästy suomalaisia tyydyttävään ratkaisuun projektin alkuvaiheessa. Konventionaalaisia laitososia, kuten turbiinit, putkistot, venttiilit, pumput jne. valmistaville tehtaalle oli vapaa pääsy, mutta ydinkomponentteja tekevien tehtaiden sanottiin olevan sotilashallinnon alaisia ja näin ollen jo Neuvostoliiton peruslait kieltävät ulkomaalaisilta pääsyn tehtaalle.

Meille ilmoitettiin, että tehtaiden omien laadunvalvontaosastojen dokumentit ovat meille saatavissa mutta tehtaiden valvonta ei muulla tavoin ole mahdollista. Häätäratkaisuksi keksittiin se, että pyydettiin Neuvostoliiton kaupan ja teollisuuden kamaria (TPP) toimimaan puolestamme laadun valvojana ja varmistajana tehtailla. Aluksi epäluulomme oli suuri sen suhteen, että neuvostoliittolainen laadunvalvontaorganisaatio ei olisi riittävän kriittinen. Pysimme lausuntoja muualta maailmasta TPPn luotettavuudesta. Tyypillisin oli amerikkalaisen kauppakamarijärjestön lausunto, jossa he ilmoittivat, että ainakin arbitraatiokysymyksissä TPP on vähemmän kotiin vetävä kuin he itse katsovat olevansa. Myöhemmin olemme voineet oppia, että TPPn tarkastajat ovat olleet hyvin puolueettomia ja tiukkoja.

Tehtastarkastuksen puuttuessa korvasimme sen hyvin tiukoilla vastaanottotarkastuksilla Loviisassa. Pian neuvostoliittolaiset huomasivat, että suomalaiset liian usein palauttivat tavaroita tehtaalle kor-

jauksia varten. Tämän seurauksena he havaitsivat, että on välttämätöntä lieventää tehtaillakäyntikieltoa.

Lievennykset tapahtuivat joskus erikoisissa olosuhteissa. Muistan ehkä tärkeimmästä lievennyksestä kuinka silloinen Neuvostoliiton kaupallinen neuvos Yuri Smeljakov oli pyytänyt minua järjestämään ”intiimin” tilaisuuden, jossa firman ylintä johtoa olisi paikalla. Kutsuimmekin vaimoni kanssa Heikki Lehtosen, Pentti Alajoen, Yuri Smeljakovin ja Oleg Davydovin puolisoineen meille päivälliselle. Päivällispuheessaan Jury Smeljakov ruoan, rouvien kauneuden ja isäntäväen kiittelyn ohella ohimennen sanoi: ”Muuten on aika outoa, ettette ole koskaan käyneet Izhoran tehtailla Leningradissa, jossa sentään teidän Loviisan reaktorinne painesäiliötä valmistetaan.” Käynti tehtaalle järjestyi seuraavalla viikolla ja siitä lähtien pääsy sinne on ollut suhteellisen vapaata. Pisimpään suljettuna pysyi polttoainetehdas, jonka ovet suomalaisille kävijöille avautuivat vasta noin vuosi sitten.

Suomalaiset laatuvaatimukset olivat useimmille tehtaalle todella niin ankaria, että tehtaasivat siihen olleet tottuneet. He valittivatkin silloisessa neuvostoliittolaisessa määrin tähtävässä suunnitelmatilouudessa, että suomalaisten komponenttien tekoon menee kaksinkertainen aika muihin verrattuna. Näin ollen he eivät pysy Moskovan antamissa määrätavoitteissa. Jotkut tehtaasivat kieltäytyivät kokonaan tekemästä suomalaisiin laatuvaatimuksiin tarvikkeita. Neuvostoliitto joutuikin myöhemmin joitakin komponentteja, kuten venttiilejä, tilaamaan lännestä ”omalla kustannuksellaan”. Tehtaasivat väitivät, ettei voi olla kohtuullista, että venäläiselle paksulle paperille tehty tarkastusdokumentit painavat enemmän kuin tarkastettu pieni venttiili.

*Loviisan vihkiäisjoukkoa reaktorirakennuksessa: vasemmalla Kekkonen, tämän kirjoittaja, Kosygin, Sasharin ja turvallisuusmies.*

## Kielivaikeuksia

Kielikysymys oli myös projektin aikana ongelma. Neuvostoliittolaiset tietysti alkuneuvotteluissa pyrkivät siihen, että venäjä olisi virallinen kieli projektissa. Yhdessä, jälleen kerran sitkeässä neuvottelussa saimme kuitenkin tahtomme läpi ja sovimme, että kumpikaan osapuoli ei saa saada sitä etua, että käyttää omaa kieltään toisen käyttäessä tulkkeja. Tämän vuoksi projektin ainoaksi viralliseksi kieleksi sovittiin englanti. Kun kumpikaan osapuoli ei kaikista ydinvoimalaitoksen yksityiskohdista tiennyt niiden englantilaisia nimiä, jouduttiin ne usein keksimään ja näin ollen USAlaisille Westinghousen edustajille käyttämämme englanti tuntui täydeltä siansaksalta. Keskinäisessä kirjeenvaihdossamme sen kuitenkin hyvin ymmärsimme.

Myös kaikki IVOn omat, Finnatomien tekemät ja Siemensin piirustukset ja dokumentit tehtiin englanniksi. Neuvotteluissa kuitenkin usein kaikki käyttivät omaa kieltään ja erinomaisen taitavat tulkkimme, Konsta Lembidakis ensimmäisenä, yrittivät selvittää englannin, saksan, suomen ja venäjän sekamelskasta.

Anekdoottina muistuu mieleeni, kuinka projektin loppuvaiheessa Siemensin toimittamien instrumenttien putkiyhteitä sovitettaessa perustettiin ns Hochleitungsbüro, jonka vetäjänä oli Kari Ruokonen. Tehdyt päätökset olivat suhteellisen yksinkertaisia, niitä oli kuitenkin tuhansia, joten neuvostoliittolaiset lähettivät tähän Hochleitungsbüroeseen nuoren, vain venäjää osaavan teknikon, saksalaiset myös vain saksaa osaavan teknikon ja Kari Ruokonen asetti oman suomenkielisen teknikkonsa tilaajan etuja valvomaan. Piirtämällä ja käsin puhumalla tämä kolmikko sai muutaman viikon aikana kaikki tarvittavat yhdessä päätökset tehtyä ja instrumentit putkistoon sovitettua. Vaikeudet eivät kuitenkaan loppuneet siihen, sillä heidän oli tekemänsä päätökset protokolloitava englanniksi, eikä kukaan heistä osannut englantia. Kari Ruokosen erinomaisella kielitaidolla tästäkin ongelmasta selvitettiin.

Kuunnelllessaan meidän kieltämme Westinghousen edustajat ristivätkin projektin Eastinghouseksi. Moni muikin projektissa opetteli venäjän kielen auttavan taidon, mutta suomalaisilla tuntuu edelleen olevan synnynnäinen vastenmielisyys itäisen naapurimme kieltä kohtaan.

*Vihkiäispainallus, Palmgren ja Lembidakis seuraavat tarkkaavaisesti.*

## Projektin toteutus työmaalla

Pahin työruuhka Loviisassa sattui 1970-luvun korkeasuhdanteen aikana, jolloin työvoiman saanti oli hyvin vaikeata. Työmaan vahvuus nousi enimmillään noin 4000:een henkeen, josta noin neljännes neuvostoliittolaisia. Suuri osa suomalaisista oli haalittu ympäri Suomea ja he asuivat viikot voimalaitoksen viereen rakennetussa parakkikylässä. Neuvostoliittolainen joukkue oli erittäin kurinalaista ja ammattitaidoltaan aivan huippuluokkaa. Monet suomalaiset olivat kuitenkin "heittoporukkaa", jonka meno välillä parakkialueella oli Klondykemaisen vauhdikasta.

Projektissamme Paul Laine opetteli sveitsiläisten konsulttien avustamana suurprojektien aikataulutustekniikkaa, jonka yksityiskohtaisuus oli neuvostoliittolaisille aivan uutta. Neuvostoliittolaiset komponentit olivat usein kuukausia myöhässä ja usein niitä jouduttiin palauttamaan tehtaille laatuvirheiden takia. Tämä aiheutti sen, että projektin aikataulu jouduttiin kuukausittain uusimaan ja sen pitäminen ajan tasalla silloisella tietokonetekniikalla oli todella työläs tehtävä.

Kun projekti näytti uhkaavan myöhästyä huomattavasti, eivätkä "alemman" tason moitteet auttaneet, käännyimme valtakunnan ylimmän johdon, Urho Kekkosen puoleen. Neuvostoliiton energiaministeri Naporozhny oli valtiovierailulla Suomessa ja pyysimme Kekkosta muistuttamaan, kuinka tärkeätä olisi saada Loviisan laitoksen ajoissa valmiiksi. Naporozhnyn seurueeseen kuului hänen "oikea kätensä" Vladimir Nevski, jonka Naporozhny siltä astumalta komensi johtamaan projektin viimeistelytöitä Suomeen. Hän olikin varsinainen tehopakkaus, jonka johtamismenetelmiin ei juuri "porkkana" kuulunut, mutta sitäkin tehokkaammin piiska.

Kun ihmettelin Nevskin kovia johtamisotteita, opetti hän minua sanoen: "Meistä venäläisistä suuri osa on maaorjien jälkeläisiä, eikä maaorjaa ole koskaan ilman piiskaa töihin saatu. Jos aiot meidän venäläisten kanssa jatkossakin yhteistyötä tehdä, muista tämä."

## Laitos valmistuu

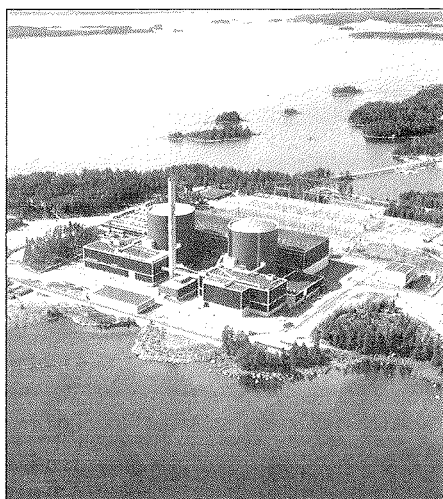
Lopulta päästiin koekäyttöön, ensin apujärjestelmien ja lopulta pääjärjestelmienkin osalta. Simolan Perttu, laitoksen tuleva käyttöpäällikkö Anders Palmgren ja neuvostoliittolaisten teknillinen "aivo" Gennadi Shasharin vastasivat koekäytöstä, ja kuten aina laitoksen viimeistelyssä, työpäivät olivat välillä 20-tuntisia. Koekäytössä vasta lopullisesti sovitettiin venäläis-suomalais-saksalais-amerikkalaiset tekniikat toisiinsa. Varsinaiset operaat-



tiot suoritti koekäytössä aina Palmgrenin tehokkaasti Suomessa ja Neuvostoliitossa kouluttama oma käyttäjoukkueemme.

Lopulta päästiin laitoksen virallisiin vihkiäisiin. Koko projektin ajan oli Loviisan työmaalla käynyt korkeita neuvostoliittolaisia ministereitä kaikilla Suomenvierailuillaan. Vihkiäisiin saimme kuitenkin itse pääministeri Aleksei Kosyginin ja presidentti Kekkonen pääohjelman suorittajiksi.

Vihkiäisistä monet asiat ovat varmasti jääneet jo unholaan, mutta kaikkien mieleen jäi "protokoläärinen moka", kun Sibeliuksen Andante Festivoa soitettaessa ilmeisesti kumpikin maan isä uskoi toisen kansallislaulua soitettavan ja nousivat kunnioittaen seisomaan. Koko muu juhlaväki mukana. Kun tilanne selvisi, oli erikoista seurata, kuinka yksi toisensa jälkeen istahti tuoliinsa.



*Loviisan laitos kaikessa komeudessaan.*

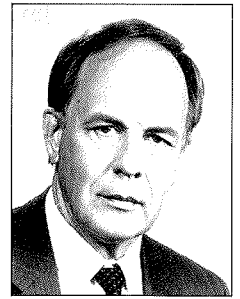
## Lopputulokset

Laitos myöhästyi 9 kk ja se tuli lähes kaksi kertaa kalliimmaksi kuin alkuperäinen budjetti. Suurin syy oli koko projektin ajan vallinnut kaksinumeroinen inflaatio, joten muidenkin energiatuotantotapojen hinnat nousivat samassa tahdissa. Näin ollen laitos valmistuessaan oli edelleen taloudellisesti hyvin kilpailukykyinen. Myöhemmät käyttökokemukset ovat osoittaneet, että se on myös hyvin luotettava käydessään.

Projektin aikana suuri joukko neuvostoliittolaisia asiantuntijoita ymmärsi ydinvoimalaitosten paremman laatu- ja turvallisuusajattelun tärkeyden ja monet heistä, energiavaraministeriksi noussut Gennadi Shasharin etunenässä, koettivat ajaa samaa filosofiaa Neuvostoliittoon. Vasta Tshernobylin onnettomuuden jälkeen kuitenkin kaikki ovat ymmärtäneet paremman turvallisuusajattelun välttämättömyyden.

"Nuoret innokkaat insinöörit" ovat nyt enää vain innokkaita, mutta kaikki varmasti muistamme Loviisan rakentamisen suurimpana haasteena, jonka nuori insinööri voi saada. Monet meistä toimivat nykyisin hyvin erilaisissa tehtävissä mutta kaikille meille tämä koulu on ollut erinomaista opetusta niin tekniikan kuin kansainvälisen kaupankin alalla. □

Vuorineuvos Kalevi Numminen on Imatran Voima Oy:n toimitusjohtaja. Hän on ATS:n perustajajäsen, toimi Seuran sihteerinä vuonna 1966 ja oli Seuran johtokunnassa vuosina 1969-1971. Puh. 90-5081.



## Ruotsalaistakin parempi ruotsalainen

*Ruotsalaisen ABB Atom AB:n toimittaman Olkiluodon ydinvoimalaitoksen käyttökertoimet ovat korkeammat ja henkilöstön saama säteilyrasitus alhaisempi kuin vastaavien Ruotsiin toimitettujen laitosten. Lisäksi Olkiluodon voimalaitos on toiminut erittäin turvallisesti ja taloudellisesti. Syyt eroihin ruotsalaisten ja suomalaisten laitosten välillä eivät ole yksiselitteisiä, vaan ne muodostuvat usean osatekijän summaksi. Teknisten seikkojen ohella keskeinen tekijä on henkilöstön korkea työmoraali, motivaatio ja ammattitaito.*

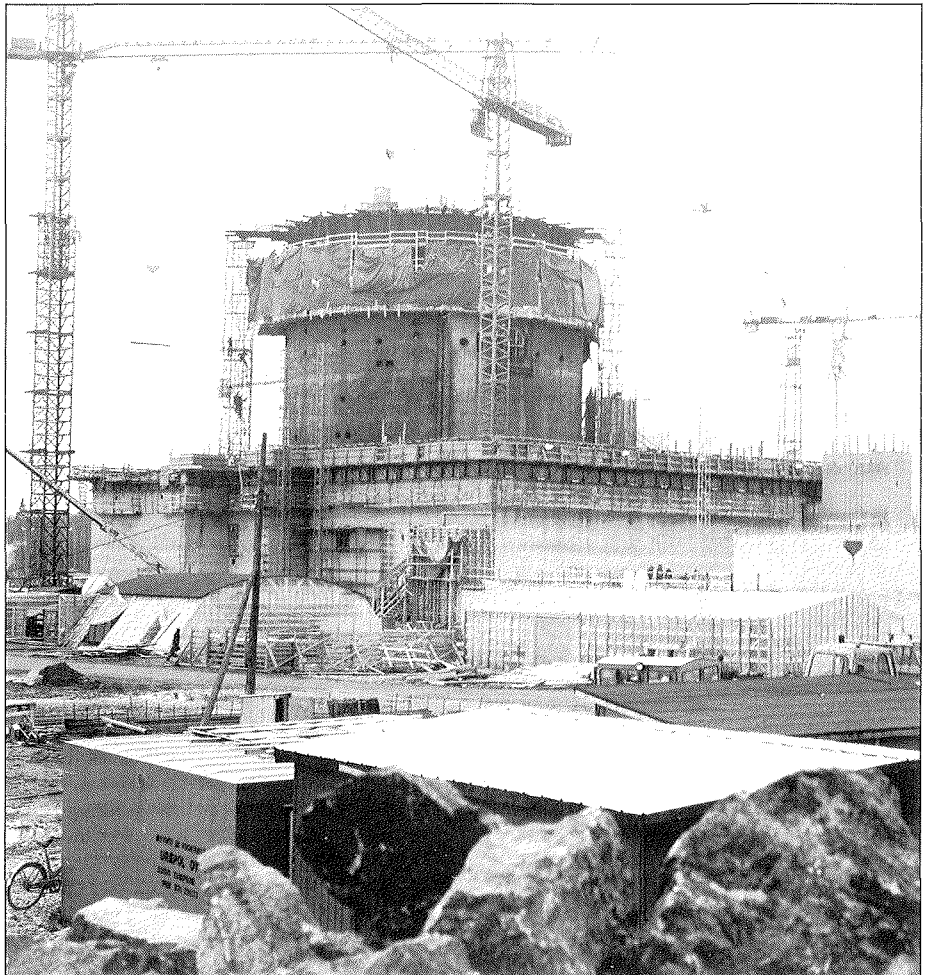
Otsikko viittaa Teollisuuden Voima Oy:n Olkiluodon kahteen 710 MW ydinvoimalaitosyksikköön TVO I ja TVO II. Sen kerskaileva muoto vaatii heti selvennyksen. TVO:n laitosyksiköt ovat ruotsalaisen ABB Atom AB:n (entisen AB ASEA-ATOM:in) suunnittelema ja toimittama. Ne ovat tuottaneet sähköä 122 terawattituntia vuodesta 1978 lähtien korkeilla käyttökertoimilla ja alhaisilla säteilyannoksilla.

TVO I ja TVO II ovat toistaiseksi ainoat ABB Atomin Ruotsin ulkopuolelle toimittamat kiehutusreaktorit. ABB Atomin yhdentoista Ruotsiin ja Suomeen toimitettaman BWR-laitoksen keskimääräinen vuotuinen käyttökerroin on pitkään ollut maailman korkein toimittajakohtaisessa vertailussa.

Näiden laitosten käyttötulokset ja -kokemukset eroavat toisistaan aika vähän. Eroihin kohdistetaan kuitenkin joskus huomiota, varsinkin Suomen ja Ruotsin laitosyksiköitä vertailtaessa. Koska erot usein ovat olleet Suomen eduksi, olisi paikallaan lisätä alaotsikko:

**Mistä johtuu että suomalaiset käyttökokemukset ruotsalaisesta BWR:stä ovat ruotsalaisia hiukan paremmat?**

Perusvoimaa osakkailleen omakustannushintaan tuottavana voimayhtiönä TVO:n toiminta-ajatus voidaan kiteyttää sanoilla: turvallisuus, toimintavarmuus ja taloudellisuus. Toiminta-ajatuksen toteutta-



TVO I -laitosyksikön reaktorin teräsbetonisen suojarakennuksen liukuvalu vuonna 1973.

misessa on onnistuttu varsin hyvin, vähättelemättä kuitenkaan turvallisuuden kannalta huomioitavia tapahtumia, joiden määrä on onneksi jäänyt vähäiseksi.

### Suomen hyvä käytettävyys ja alhainen säteilyrasitus

Suomen sähköntuotannon rakenteesta johtuen ydinvoima on perusvoiman tuotantomuoto. Olkiluodon ja Loviisan laitosten tehoja on jouduttu rajoittamaan oikeastaan vain pyhien alhaisesta sähköntarpeesta johtuen. Toisin on Ruotsissa, jossa ydinvoimalaitokset osallistuvat kausi-, viikko- ja jopa vuorokausisäätöön — kumoten myytin, jonka mukaan ydinvoimalaitosten tehoja ei voisi näin säätää. Säätöön osallistuminen näkyy alhaisempina käyttökertoimina. Syynä tähän maittemme väliseen eroon on, että Suomessa ydinvoiman osuus sähkön hankinnasta on tänään alle 30 prosenttia ja että loput sähköstä hankitaan monella eri tavoin. Ruotsissa ydinvoiman osuus on lähes

puolet ja yhtä paljon tuotetaan edullisesti vesivoimalla.

Oikeampaa olisi näin ollen laitosten paremmuutta vertailtaessa viitata niiden käytettävyyteen (availability factor) kuin käyttökertoimeen (capacity factor). Käytettävyyttäkin vertailtaessa ovat suomalaiset BWR-laitokset ruotsalaisia hiukan edellä, joskin ero uusimpiin ruotsalaisiin laitoihin on pieni.

Toinen tärkeä ydinvoimatuotannon laatu-mittari on henkilöihin ja ympäristöön kohdistuva radioaktiivinen säteilyrasitus. Olkiluodon käyttö- ja huoltohenkilökunnan saamat vuosittaiset säteilyannokset ovat pysyneet ABB Atomin toimittamien BWR-laitosten keskiarvoja alempana.

Tuotantotaloudelliseen tulokseen vaikuttavat monet itse voimalaitostoitinnasta riippumattomat tekijät kuten esimerkiksi rahoitusmuodot, laitosten ikä ja verotus. Ruotsalaisen voimayhtiön OKG:n ja



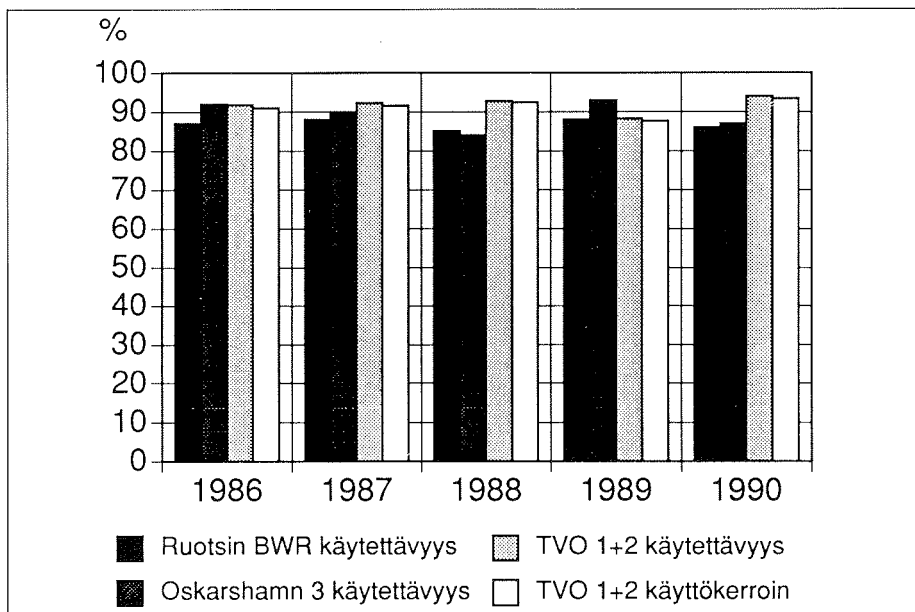
TVO:n taloudelliset ja toiminnalliset edellytykset ovat hyvin samanlaiset. OKG:n kolmosyksikkö (1205 MW nettoteho), joka on TVO:n yksikköjä nuorempi, tuottaa sähköä samaan yksikköhintaan kuin meillä.

Tärkeä edellytys ydinvoiman onnistuneelle tuotannolle on hyvin toimiva ydinpolttoaine- ja ydinjätehuolto. Näitä toimintoja on TVO:ssa kehitetty rinnan ja samansuuntaisesti ruotsalaisten voimayhtiöiden kanssa. Käytetyn ydinpolttoaineen ja ydinjätteen huollon ratkaisut, taloudellinen varautuminen sekä lainsäädäntö ovat lähes samanlaiset. TVO hoitaa kuitenkin tällä hetkellä kokonaisvaltaisemmin näitä velvoitteita. Ruotsissa sovelletaan ainakin ydinjätteen ja käytetyn polttoaineen huollon toteuttamisessa voimayhtiöiden välistä yhteistoimintaa.

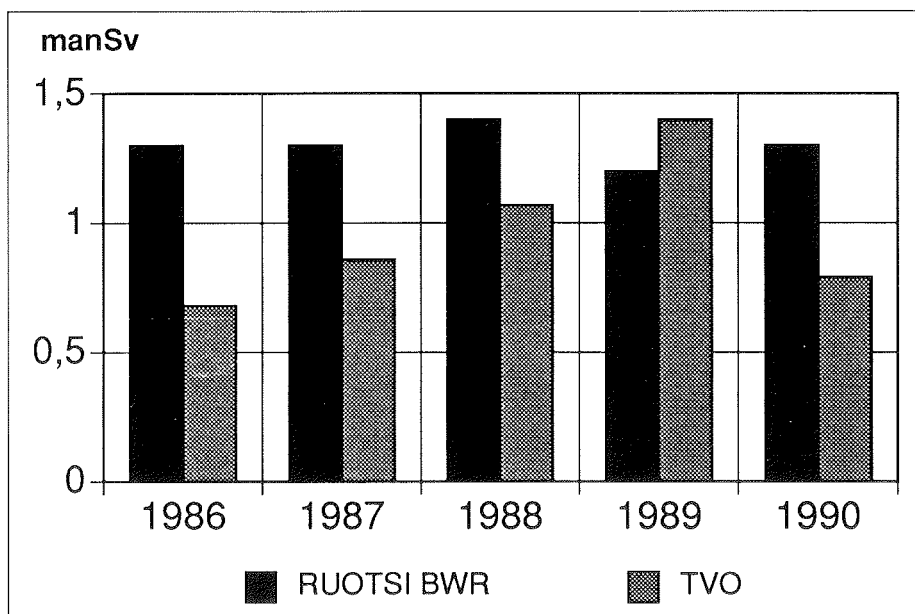
### Paremmuuteen vaikuttavat useat tekijät

Mitenkä on mahdollista että TVO:n laitosyksiköt yhdessä Imatran Voima Oy:n Loviisan laitosten kanssa ovat ylittäneet maakohtaiseen kärkisijaan ydinvoimalaitosten maailmanlaajuisessa käyttökertoimien vertailussa viimeisten seitsemän vuoden aikana? Yksiselitteistä vastausta ei löydy vaikka ilmiötä on yritetty analysoida mm. useassa kansainvälisessä seminaarissa. Tärkeitä edellytyksiä ja tekijöitä ovat varmaan seuraavat:

- Olkiluodon 1970-luvulla rakennettujen laitosyksiköiden yhä edelleen moderni tekninen suunnittelu.
- Henkilökunnan perusasennoituminen työhönsä. Suomalainen työmoraaali on korkea, työstä tunnetaan vastuuta. Ydinvoima sopii suomalaisten käsiin.
- Tinkimätöntä viranomaisvalvontaa ei rasita turha byrokratia. Tarvittavat toimenpiteet voidaan toteuttaa joustavasti koska yhteisymmärrykseen päästään yleensä nopeasti — tämä on pienen maan etuja.
- Voimayhtiöiden pyrkimys pitää laitokset teknisesti vähintään uuden veroisina mitä tulee turvallisuuteen ja toimintavarmuuteen.
- Vähän polttoainevaurioita, reaktoripiirien säteilytasot ja henkilöannokset siten alhaisia.
- Tarkka ennakkohuollon suunnittelu ja sen tehokas toteuttaminen polttoainevaihdon yhteydessä sekä käytön aikana. Nelinkertaiset turvallisuuden kannalta tärkeät järjestelmät edesauttavat käytönaikaista ennakkohuoltoa ja korjaustoimenpiteitä.
- Olkiluodon laitosyksiköt ovat identtiset. Tämä on omiaan helpottamaan



Ruotsin ja Suomen BWR-laitosten käytettävyyden vertailu (sekä TVO-laitosten käyttökerroin). Lähteet: KSU, OKG, TVO.



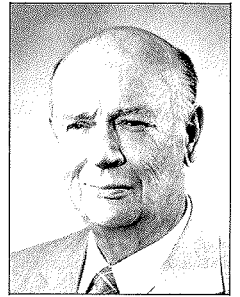
Keskimääräinen kollektiivinen vuosisäteilyannos, manSv/laitosyksikkö, BWR-laitoksilla Ruotsissa ja Suomessa. Lähteet: KSU, TVO.

- varaosahuoltoa ja vaihto-osien kiertoa.
- Henkilökunnasta pyritään pitämään hyvää huolta. Sekä valvomohenkilökunnan simulaattorikoulutukseen että muuhun koulutukseen panostetaan voimakkaasti.
- Jatkuva yhteys reaktoriosan toimittajaan (ABB Atom) sekä mm. turbiinotoimittajaan (ABB Stal) huoltotoimien kehittämiseksi.

kea ydinvoimaosaaminen, josta oma toimintamme on kiistattomana malliesimerkinä. Suotavaa olisi, että tämä osaaminen myös jatkossa säilyisi ja mieluummin lisääntyisi yhtenä edellytyksenä kansamme hyvinvoinnin jatkumiselle ja puhtaalle ympäristölle. □

Edellä esitettyä taustaa vasten TVO ja IVO sekä monet muut yhteisöt suosittelivat ydinvoimaa maamme kasvavan perusvoiman tarpeen tyydyttämiseksi. Uudesta ydinvoimasta päättäminen tai päättämättä jättäminen on myös kannanotto siihen, halutaanko Suomessa säilyttää kor-

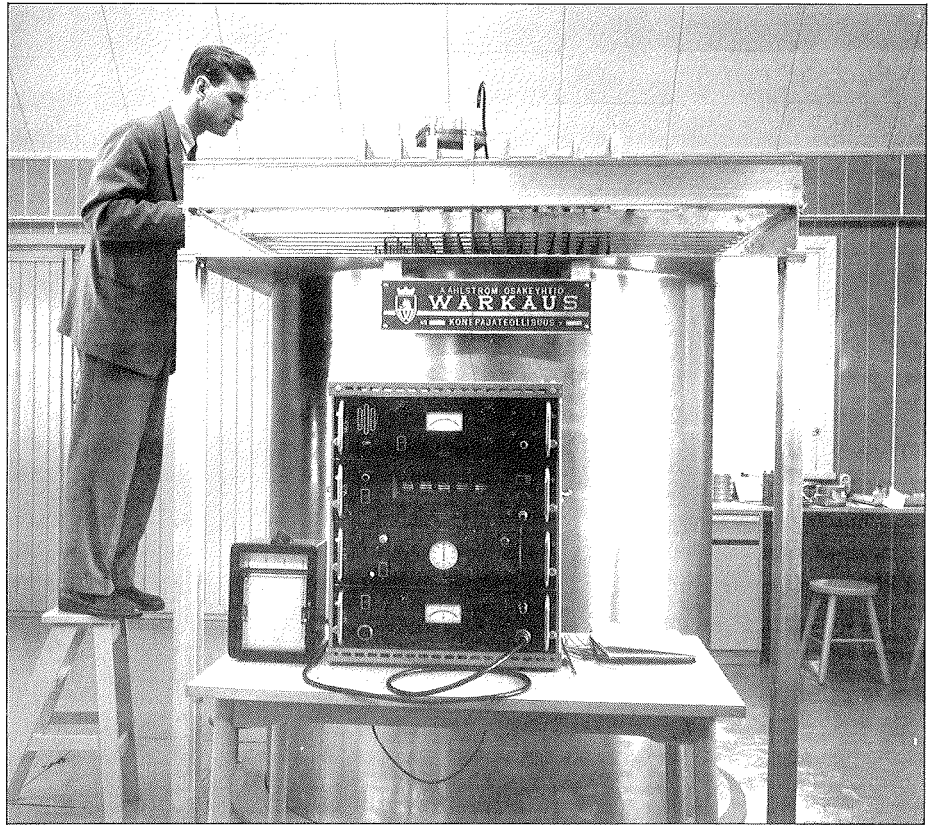
DI Magnus von Bonsdorff on Teollisuuden Voima Oy:n toimitusjohtaja. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1969 ja oli Seuran johtokunnassa varapuheenjohtajana vuosina 1970-1972. Puh. 90-61801.



## Finnatomin osuus ydinenergiaratkaisuissa

*Maamme metalliteollisuus osallistui jo viime vuosisadalta lähtien maamme energiantarpeen laitekapasiteetin toimittamiseen. Oli siis luonnollista, että edistykselliset konepajamme seurasivat kiinnostuksella ydinvoiman tuloa uudeksi energian lähteeksi. Metalliteollisuuden kahdeksan johtavaa yritystä muodosti vuonna 1966 Suomen Atomiteollisuusryhmän, joka vuoden 1970 alusta toimi osakeyhtiönä nimellä Oy Finnatom Ab. Finnatomin toiminta vei laajoihin laitetoimituksiin vuosien 1970—83 aikana niin hyvin Loviisaan kuin Olkiluotoonkin sekä myös Ruotsin ydinvoimalaitoksille. Tämän lisäksi yhtiö suoritti joukon merkittäviä selvitys- ja tutkimustehtäviä toimintansa aikana.*

Vuonna 1964 **Imatran Voima Oy** alkoi konkreettisesti kehittää valmiuttaan ydinvoiman rakentamiseksi ja yksityinen teollisuuskin ryhtyi pian tämän jälkeen tutkimaan mahdollisuuksiaan rakentaa ydinvoimaa. Aktiivisuuden näin lisääntyessä Asean kaupallinen johtaja, tekn.tri **Curt Mileikowsky** ja yhtiön Suomen johtaja, dipl.ins. **Timo Airas** kävivät 21.7.1965 Valmetin pääkonttorissa esittämässä minulle, että ryhtyisin organisoimaan maamme johtavista konepajoista konsortiota, joka voisi olla alihankkijana Asealle siinä tapauksessa, että he saisivat tilauksen Suomeen rakennettavasta ydinvoimalaitoksesta. Järjestinkin asiasta keskustelutilaisuuden Metalliyhdistyksen tiloihin 16.9. samana vuonna. Mukana olevien yritysten edustajat hyväksyivät 17.2.1966 konsortion perustamisen tammikuussa asettamiensa työryhmien tekemien ehdotusten mukaisesti. Konsortion perustava kokous pidettiin keskiviikkona 30.3.1966. Nimeksi vahvistettiin **Suomen Atomiteollisuusryhmä** (Finnish Nuclear Industries Group) ja sen toiminnanjohtajaksi nimitettiin Ekonon palveluksessa siihen saakka toiminut tekn.lis. **Uolevi Luoto**. Tehtäväkseen ryhmä asetti osallistua alihankkijana maksimaalisesti Suomeen rakennettavien ydinvoimaloiden toi-



Teollisuuden teknilliselle korkeakoululle lahjoittaman eksponentiaalimiilun reaktoritankki, jonka päällä polttoainesauvojen kannatuslaite.

mituksiin riippumatta siitä, kuka olisi päätoimittaja. Ryhmän jäsenet olivat **A. Ahlström Oy, Oy Nokia Ab, Rauma-Repola Oy, W. Rosenlew & Co. Oy, Oy Strömberg Ab, Oy Tampella Ab, Valmet Oy ja Oy Wärtsilä Ab.**

### Finnatomin osuus ydinvoimaa suunniteltaessa

Imatran Voima valitsi vuonna 1966 saamiensa tarjousten pohjalta loppukilpailuun AEG:n, Canadian General Electricin ja Westinghousen. IVO:n loppukilpailusta poisjääneet ruotsalainen **Asea** ja englantilainen **UKAEA** aktivoivat toimintaansa IVO:n suunnitelmien saaman poliittisen vastustuksen johdosta. Molemmat yhtiöt olivat kiinteässä yhteydessä Atomiteollisuusryhmään hakiessaan mallia, millä voisivat parantaa kilpailuunsa. Vuonna 1967 keskeytynyt tilanne jatkui kaikkien osapuolten hakiessa uutta lähestymistapaa asian ratkaisemiseksi.

Kauppa- ja teollisuusministeri **Olavi Salonen** kehitteli ajatusta tilata ydinvoimalaitos kotimaasta, jolloin ulkomainen lai-

toksen suunnittelija olisi lisenssinantajan ja alihankkijan asemassa. Tätä varten KTM tilasi Atomiteollisuusryhmältä 5.9.1967 tutkimuksen, "jonka tarkoituksena on selvittää Suomen teollisuuden mahdollisuudet pähankkijana toimittaa atomivoimalaitos reaktoreineen siten, että tutkimus-, suunnittelu- ja rakennustyöstä mahdollisimman suuri osuus suoritetaan kotimaisin voimin, mutta että välttämättömissä kohdin turvaudutaan ulkomaiseen asiantuntija-apuun ja ulkomaisiin hankintoihin." Selvitys valmistui 31.1.1968 ja Suomen Atomiteollisuusryhmä luovutti pyydetyn tutkimuksen ministeri Saloselle valtioneuvoston juhlahuoneistoon järjestetyssä juhlavassa tilaisuudessa 8.2.1968.

Tutkimuksen pohjana olleen mallin mukaan IVO toimisi rakennuttajana ja tilaisi rakennustyöt urakoitsijalta. Atomiteollisuusryhmän muodostamalta yhtiöltä IVO tilaisi reaktorilaitoksen, josta perustettava atomiyhtiö tekisi suunnittelu- ja lisenssisopimuksen IVO:n valitseman yhtiön kanssa. Lisäksi atomiyhtiö tilaisi ja toimittaisi IVO:lle ns. tavanomaisen laitoksen tarjousten perusteella koti- ja ul-

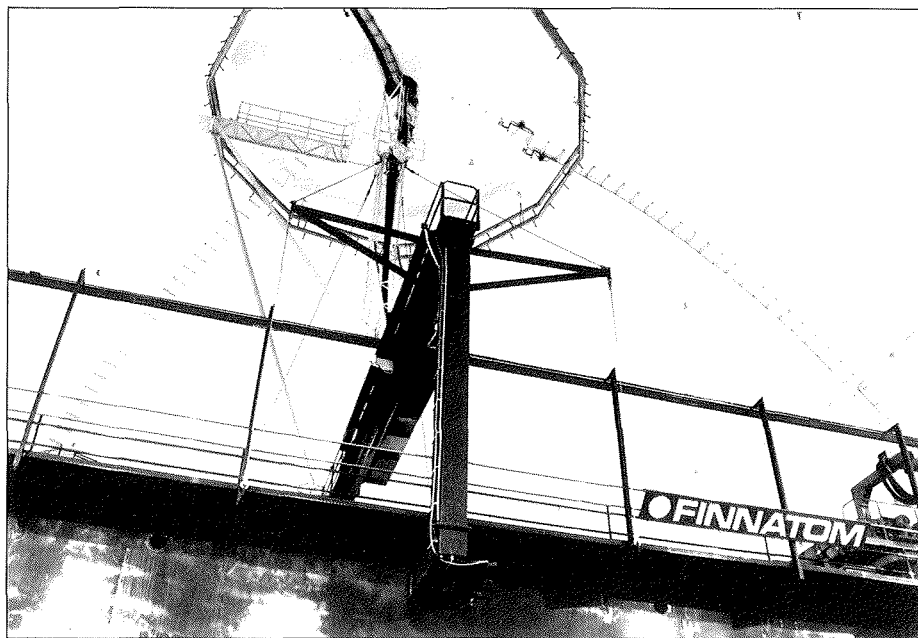
komaisilta tarjoajilta. Kaikessa toiminnassa olisi tavoitteena mahdollisimman suuren kotimaisen osuuden turvaaminen. Tutkimuksen mukaan kyseeseen tulisi kolme vaihtoehtoa: kiehutusreaktori (BWR), painevesireaktori (PWR) ja paineputkireaktori (PTR). Raportissaan ryhmä toteaa, että konstruktiiivisista syistä voidaan paineputkireaktorista valmistaa suurempi osa (noin 75%) laitteista Suomessa kuin toisissa reaktoreissa (50–60%).

Atomiteollisuusryhmän raportin valmistuttua IVO pyysi ryhmää toimittamaan yhteistyössä ASEAN:n, UKAEA:n ja Technopromexportin kanssa teknillistä-loudellisen selvityksen Loviisaan rakennettavan 500 MW:n voimalaitoksen reaktoriosasta. Atomiryhmän piirissä oli käsityksenä, että englantilainen putkireaktori sijoittui vertailussa hyvin. Toukokuun viimeisenä päivänä 1968 IVO:n hallituneuvosto pani kuitenkin asian pöydälle. Kesäkuussa ministeri Leskinen sanoi puheessaan, että ydinvoimalaitoskysymys on otettava uudelleen harkittavaksi. Heinäkuun 25. p:nä valtioneuvosto teki päätöksen, jonka mukaan ydinvoimalaitoksen rakentamisesta toistaiseksi luovutaan.

## Finnatomin toimitukset ydinvoimalaitoksiin

Tämän monimutkaisen vaiheen aikana, jonka avulla valtio ja IVO pyrkivät luokertelemaan irti poliittisesta paineesta tilata ydinvoimalaitos Neuvostoliitosta, Suomen Atomiteollisuusryhmä oli jo aloittanut oman valmistustoimintansa. Jo toukokuussa 1967 Asea tilasi ryhmältä merkittävän osan Oskarshamniin rakennettavan reaktorin osista. Näin suomalaiset konepajat saivat konkreettista kokemusta reaktorilaitokseen sisältyvien laitteiden valmistuksesta ja siihen liittyvästä erittäin huolellisesta tarkastustoiminnasta. Toimitukset lisäsivät siihen osallistuneiden konepajojen valmiutta lisätä panostaan uusiin voimalaitoksiin.

Suomen Atomiteollisuusryhmä muodostettiin osakeyhtiöksi Oy Finnatom Ab vuonna 1969. Yhtiöjärjestys hyväksyttiin jäsenistön muodostamassa ryhmän hallituksessa 17.9.1969 ja perustava yhtiökokous pidettiin 23.9.1969. Yhtiön rekisteröinti tapahtui 7.1.1970. Yhtiönä toiminta alkoi vuoden 1970 alusta. Atomiteollisuusryhmän toiminnanjohtaja Uolevi Luoto jatkoi työtään uuden yhtiön toimitusjohtajana. Kun Imatran Voima Oy vihdoinkin tilasi vuonna 1970 ensimmäisen ydinvoimalaitoksensa Technopromexportilta, Finnatom neuvotteli neuvostoliittolaisten kanssa osuudesta hankintaan. Vuoden 1969 alussa perustettu Teollisuuden Voima Oy puolestaan ryhtyi neuvottelemaan Asea:n kanssa ruotsalaisesta kiehutusvesireaktorista. Finnatom, jolla jo oli kokemusta Asean suunnittelemissa reaktorilaitoksista, oli tietenkin kuvassa mukana. Näytti siis siltä, että konepaja-



Loviisan ydinvoimalaitoksen reaktorirakennuksen Polar-nosturi. Katossa näkyvät myös sprinklerijärjestelmän suutinrenkaat.

teollisuutemme panostus ydinvoiman rakentamiseksi oli vihdoinkin saavuttamassa tuloksia riittävässä laajuudessa. Oheisessa taulukossa näkyvät maamme teollisuuden toimitukset Loviisaan ja Olkiluotoon.

Ensimmäiset tilaukset Loviisan laitokseen Finnatom sai vuonna 1970. Kun myöhemmin IVO tilasi toisen reaktorin Loviisaan ja TVO saattoi käyttää hyväkseen optiota toisen reaktorilaitoksen tilaamiseksi Olkiluotoon, Finnatom sai jatkuvuutta. Samaa jatkuvuutta merkitsivät myös Ruotsin uudet ydinvoimalaitokset, joihin Asea-Atom sijoitti tilauksia Suomeen. Kotimaisten toimitusten pääosa lankesi 1970-luvulle. Sensijaan toimituk-

sia Ruotsiin jatkui pitempään. Näiden tilauksia tuli 1980-luvun alussa sekä Forsmarkin että Oskarshamnin ydinvoimaloihin. Vielä vuonna 1983 Finnatomin jäsenyritykset toimittivat Forsmarkiin ja Oskarshamn 3:een laitteita polttoainealtaita varten ja viimeksimainitulle voimayhtiölle myös ohjaussauvoja ja näiden ohjausputkia. Joitakin varaosatoimituksia tapahtui vielä vuonna 1984.

Lupaavalta näyttänyt nousu katkesi. Ruotsin kuuluisa ydinvoimaa koskeva kansanäänestys katkaisi Ruotsin ydinvoiman rakentamisen. Kun Asea-Atom ei myöskään onnistunut myymään laitoksiaan muuallekaan, kuivuivat sieltä tulleet tilaukset kokoon. Suomessakin alkoi



Loviisan pääkiertopumput on valmistettu Ahlströmin Karhulan tehtailla ja moottori on Strömbergin.

ydinvoiman vastainen mielipide voittaa alaa, ja maamme viidennen ydinvoimalan suunnittelu pantiin odottamaan.

Vuoden 1975 tammikuun lopussa Finnatomien toimitusjohtaja vaihtui. Alusta toimintaa johtanut tekn.lis. Uolevi Luoto siirtyi takaisin Ekoon ja uudeksi toimitusjohtajaksi valittiin dipl.ins. **Daniel Jäfs**, joka toiminnan alkamisesta saakka oli edustanut Ahlströmiä yhtiön teknillisessä komiteassa. Finnatomien töiden vähetessä oli osakkaiden mielestä vedettävä johtopäätökset. Ensin supistettiin toimintaa, mutta vuonna 1984 Finnatomien osakkaat päättivät luopua toiminnasta. Oy Finnatom Ab ei kuitenkaan yhtiönä loppunut, mutta omistajat, varsinaiset laitteistojen toimittajat luovuttivat yhtiön sen toimitusjohtajalle, dipl.ins. Daniel Jäfsille. Hän osti johtamansa yhtiön osakkeet 26.9.1984. Tässä uudessa muodossaan yhtiö ei enää vastaa alkuperäistä tarkoitustaan, joten voidaan sanoa Suomen Atomiteollisuusryhmänä aloitetun konsortiotuotannon loppuneen, vaikkakin entiset osakasyhtiöt vielä pitivät yhteyttä Finnatomiin, minkä huomaa myös yhtiön hallituksen puheenjohtajavalinnoista.

## Finnatomien henkilökunta ja toimitilat

Suomen Atomiteollisuusryhmän aloittaessa toimintansa huhtikuussa 1966 sen palveluksessa oli vain toiminnanjohtaja, tekn.lis. Uolevi Luoto sihteerineen. Työtilat järjestyivät Tampellan Helsingin konttorista Eteläranta 10:stä. Jo samana vuonna henkilökuntaa lisättiin ottamalla ryhmän palvelukseen teknilliseksi sihteeriksi tekn.yliopp. **Tapio Waris**, joka valmistui dipl.insinööriksi seuraavana vuonna TKK:n fysiikan osastolta. Waris oli ryhmän palveluksessa vuoden 1969 loppuun, jolloin siirtyi A. Ahlström Oy:n tutkimusinsinööriksi. Toiminnan vilkastuminen asetti ryhmän henkilökunnalle lisävaatimuksia. Vuonna 1967 palvelukseen saatiin Englannissa Winfrithin reaktori-projekteissa työskennellyt dipl.ins. **Magnus von Bonsdorff**, joka toimi Finnatomien tutkimusjohtajana vuoteen 1970 saakka, jolloin hänet valittiin Teollisuuden Voima Oy:n toimitusjohtajaksi.

Tampellan tilat kävivät pian ahtaiksi. Jo vuonna 1968 Atomiteollisuusryhmä muutti osoitteeseen Mikonkatu 6 C 29 ja seuraavana vuonna omaan konttoritilaan Palacen talossa. Vuonna 1971 oli edessä muutto osoitteeseen Aleksanterinkatu 15. von Bonsdorffin siirtyessä pois Finnatomien palveluksesta hänen seuraajakseen yhtiöön tuli dipl.ins. **Antti Hanelius**. Hänen myös siirtyessään TVO:n palvelukseen 1.7.1971 tutkimusjohtajaksi tuli dipl.ins. **Tapani Graae**, joka jo vuonna 1970 oli tullut yhtiön palvelukseen. Finnatomiin palkattiin lähinnä myyntitehtäviin syksyllä 1970 dipl.ins. **Veikko Ivalo**. Graaen jättäessä Finnatomien 1975 tuli tekn.tri **Juhani Kuusi** hänen jälkeensä

tutkimusjohtajaksi, mitä tointa hän hoiti vuoteen 1980. Seuraavaksi tutkimusjohtajaksi valittiin tekniikan lisensiaatti **Timo Haapalainen**, joka hoiti tehtävää vain vuoteen 1981. Toiminta alkoi tähän aikaan jo merkittävästi vähentyä. Finnatomien voimakkaimman toiminnan aikana yhtiön palveluksessa myynti- ja projektitoissa, laadunvalvonnassa ym. oli jo mainittujen henkilöiden lisäksi mm. **Ali Biaudet**, **Ulf Broman**, **Reino Hyvärinen** ja **Stefan Wilhelmsson**.

## Suomen teollisuuden toimitukset Loviisaan ja Olkiluotoon

### A: Laitteet

1. Reaktorin sisäosat kuten hidastinsäiliö kansineen ja höyrynerottimet
2. Reaktorin ohjauk- ja mäntäputket
3. Säätösauvojen runkoputket
4. Pääkiertopumput moottoreineen
5. Suojakuoret putkiläpivienteineen ja sulkuineen
6. Jäälauhduttimet
7. Reaktori- ja turbiinihallin nosturit sekä muut nosturit ja hissit
8. Polttoaineen käsittelylaitteita sekä muita käsittelylaitteita
9. Käytetyn polttoaineen varastotelineet
10. Merivesipumput
11. Merivesilämmönvaihtimet
12. Lauhduttimet ja lämmönvaihtimet
13. Lauhteenkäsittelylaitteet
14. Paineastioita ja säiliöitä
15. Turbiinipesiä
16. Putkistot
17. Säätöventtiilejä
18. Aktiivisten ja ei-aktiivisten alueiden ilmastointi
19. Pää- ja apumuuntajat sekä kytkinkentän laitteet
20. Prosessitietokonejärjestelmät ja simulaattorit
21. Sydämen instrumentointi
22. Ilmastoinnin instrumentointilaitteet ja muita valvontalaitteita
23. Säteilynvalvontajärjestelmät

### B. Rakennustyöt

1. Reaktorirakennukset
2. Turbiinirakennukset
3. Apurakennukset
4. Muut rakennukset

### C. Muut työt

1. Teräskuorien asennustyöt
2. Teräsvuorauksen asennustyöt
3. Sähköteknilliset asennustyöt
4. Ilmastoinnin asennustyöt
5. Instrumentoinnin asennustyöt
6. Eristystyöt
7. Putkiston asennustyöt
8. Sekalaiset työt kuten tietyöt, turvallisuusvalvonta, siivous jne.

Suomen Atomiteollisuusryhmän alkamisesta Oy Finnatom Ab:n perustamiseen saakka ryhmän hallituksen puheenjohtajana toimi Tampellan varatoimitusjohtaja, dipl.ins. **Nils Björklund**. Vuoden 1970 alusta Oy Finnatom Ab:n hallituksen puheenjohtajana toimi A. Ahlström Oy:n johtaja, dipl.ins. **Bjarne Nyman** vuoden 1974 kevääseen. Hänen jälkeensä hallituksen puheenjohtajina toimivat dipl.ins. **Jaakko Ihamuotila** (Valmet) 1974-77, dipl.ins. **Georg Ehrnrooth** (Wärtsilä) 1977-79, dipl.ins. **Jaakko Koskinen** (Rosenlew) 1979-81, dipl.ins. **Risto Piispanen** (Tampella) 1981-82, dipl.ins. **Paa-vo Tuomi** (Nokia) 1982-83, dipl.ins. **Paa-vo Holmström** (Rauma-Repola) 1983-86 ja dipl.ins. **Ingmar Waltzer** (Strömberg) 1986-91.

## Finnatomien harjoittama tutkimustoiminta

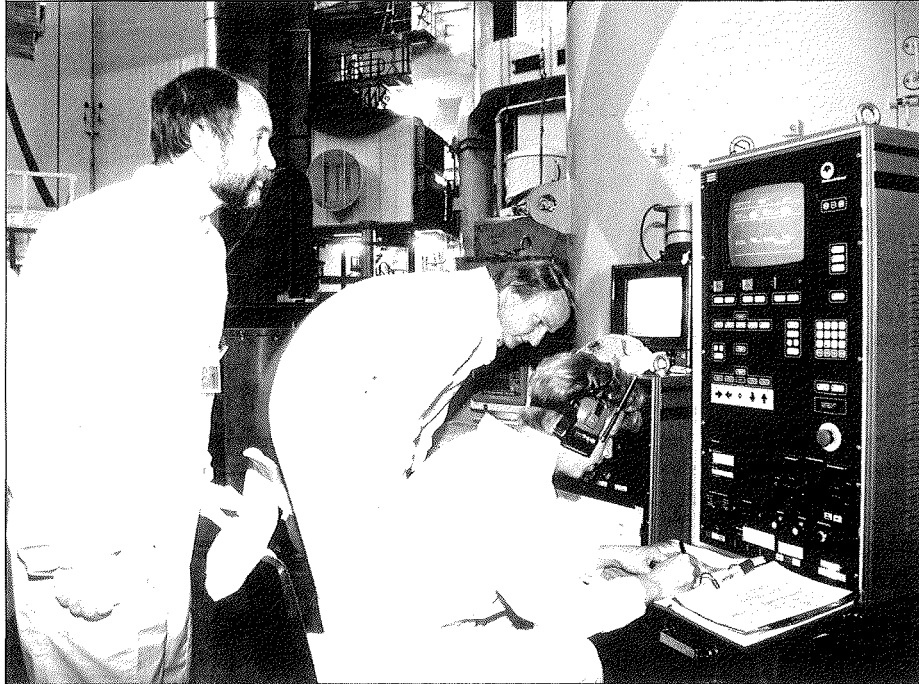
Ministeri Salosen Atomiteknilliseltä ryhmältä tilaama selvitystyö ei varsinaisessa mielessä ollut tutkimustyötä. Sensijaan ydinvoiman rakentamisen yhteydessä on syytä mainita ensimmäinen varsinainen tutkimustehtävä, joka liittyi Neuvostoliitosta tilattuun ensimmäiseen laitokseen. Pumpunkäynnä tunnettu A. Ahlström Oy sai neuvostoliittolaiseen reaktorilaitokseen valtion erikoistilauksen pääkiertopumpun kehittämiseksi, mikä toi merkittävän haasteellisen tehtävän yhtiölle. Taustana oli asiantuntijoittemme epäilykset monen venäläisen yksityiskohdan soveltuvuudesta oloihimme. Juuri nämä lisävaatimukset toivat muitakin lisäyksiä kotimaiseen hankintaosuuteen.

Finnatomien tutkimustoiminnan painopiste oli 1970-luvulla. Vuodesta 1970 vuoteen 1983 panostettiin tutkimusprojekteihin noin 2 milj. mk. vuosittain. Tästä panostuksesta valtio korvasi puolet. Pääkiertopumppujen lisäksi tutkimus kohdistui mm. seuraaviin hankkeisiin:  
— lujuusanalyyysiin  
— automaattisiin järjestelmiin instrumentointineen  
— reaktorisysteemeihin (lämpöreaktorit mukaanlukien) yhteistyössä VTT:n, Asea-Atomien ja Studsvikin kanssa  
— tietokoneavusteiseen suunnitteluun  
— venttiileihin  
— muihin pumppuihin pääkiertopumppujen lisäksi. □

DI Nils Björklund toimi G A Serlachius Oy:n varatoimitusjohtajana vuoteen 1982, jolloin hän jäi eläkkeelle. Hän on ATS:n perustajajäsen.  
Puh. 90-484319.



# Miten turvallinen on riittävän turvallinen?



Otsikossa esitettyyn kysymykseen löytyy epäilemättä yleisesti hyväksyttäviä vastauksia, jos puhutaan kaikille ihmisille tutuista asioista. Ydinturvallisuudesta puhuttaessa kaikki on kuitenkin toisin. Oikeata ja kaikkia tyydyttävää vastausta ei ole löydetty. Tuskin löydetäänkään. Entistä tarkempien vastausten etsiminen on kuitenkin jatkuvasti tarpeen.

## Lainsäätäjällä suoraviivainen näkemys

Lainsäätäjän näkökulmasta asia on yksinkertainen. Suomen ydinenergialain 6. pykälän mukaan "ydinenergian käytön on oltava turvallista eikä siitä saa aiheutua vahinkoa ihmisille, ympäristölle tai omaisuudelle." Mitään lieventäviä sivulauseita ei sanamuodosta viime vaiheessa päätettäessä haluttu tekstiin hyväksyä.

Lakipykälästä riippumatta ei ydinenergiaa käytettäessä voida välttää sitä että on olemassa ydinreaktori, jossa on huomattava määrä radioaktiivisia aineita. Näiden aineiden pääsy ihmisten elinympäristöön on estettävä. Tässä tehtävässä epäonnistumiseen liittyvää riskiä voidaan pienentää niin paljon kuin halutaan ja katsotaan järkeväksi, mutta absoluuttista varmuutta onnistumiselle ei voi luvata kukaan. Riittävä turvallisuus joudutaan siis määrittelemään alemman tason säädöksissä ja harkinnanvaraisissa viranomaispäätöksissä. Viime kädessä joudutaan ai-

***Ydinenergian rauhanomaisen käytön alkuajoista lähtien on ydinvoimalaitosten turvallisuudelle etsitty numeerisia tavoitteita, jotka voitaisiin yleisesti hyväksyä. Sellaisia ei ilmeisesti tulla löytämään. Turvallisuustaso ei voi koskaan olla niin hyvä, etteikö sitä voisi vielä parantaa uusien tietojen ja kokemusten avulla. Tavoitteiden tulee muuttua kehityksen myötä ja niihin mahdollisesti liitetävät numeeriset arvot osoittavat vain vallitsevaa käsitystä siitä, mihin parhaalla koetellulla tekniikalla voidaan päästä.***

na tarkastelemaan myös pahimpia kuviteltavissa olevia ydinonnettomuuden seurauksia ja vertaamaan niitä muihin yhteiskuntaa uhkaaviin vaaroihin.

## Kanadassa kokemusta numeerisista tavoitteista

Tietyissä ydinenergiaa käyttävissä maissa on katsottu, että turvallisuudelle voidaan asettaa selvät numeeriset tavoitteet. Turvallisuustaso on riittävä, jos voidaan osoittaa näiden tavoitteiden täyttyminen.

*Säteilyturvakeskuksen tarkastaja seuraamassa Loviisan voimalaitoksen höyrysiemien tuubien pyörivirtatarkastuksia syyskuussa 1991.*

Pisimmällä kvantitatiivisten vaatimusten käytössä ollaan Kanadassa, jossa olennaiset ja edelleen voimassa olevat tavoitteet esitettiin jo vuonna 1965. Ensimmäinen tavoite on, että huomattavien prosessivikojen todennäköisyys ei ole suurempi kuin kerran kolmessa vuodessa. Tällaisesta viasta ei saa aiheutua laitosalueen rajalla asuvalle henkilölle suurempaa kokokehoannosta kuin 5 mSv. Toiseksi edellytetään, ettei tärkeä turvallisuutta varmentava järjestelmä (reaktorin pikasulku, reaktorin hätäjähdytys tai suojarakennus) petä huomattavan prosessivian yhteydessä suuremmalla todennäköisyydellä kuin kerran 3000 vuodessa. Tällaista kaksoisvikaa vastaava annosraja on 250 mSv.

Kanadassa laitosten turvajärjestelmien suunnittelu on perustunut em. vaatimuksiin. Ensimmäiset kaksi ydinvoimalaitosyksikköä Toronton laitamilla sijaitsevalle Pickering-laitokselle voitiin rakentaa vaatimukset täyttäväksi hyvin vaatimattomin turvajärjestelmin varustettuna. Myöhemmin kun Pickering-laitosta laajennettiin ensin neljä ja sitten kahdeksan yksikköä käsittäväksi, pidettiin tarpeellisena alkuperäisen tavoitteen täyttämistä edelleen koko laitoksen osalta. Uudemmissa yksiköissä tavoitteen täyttäminen edellytti turvajärjestelmien huomattavaa lisäämistä, mm. toista riippumatonta ja uudentyyppistä pikasulkujärjestelmää.

Kanadassa on siis rakennettu riittävän turvallisia laitoksia, jos katsotaan, että alunperin asetettu tavoite oli oikea ja yleisesti hyväksyttävä. Tavoitetta voisi arvioida globaalissa mittakaavassa siltä pohjalta, että maapallolla on tällä hetkellä käytössä ydinvoimalaitosyksiköitä noin 200 laitospaikalla. Jos onnettomuustodennäköisyys laitospaikkaa kohden olisi kanadalaisen tavoitteen mukainen, se tietäisi päästöjen osalta Tshernobyl-luokkaa olevia onnettomuuksia 15 vuoden välein ja pienempiä, mutta kuitenkin merkittäviä päästöjä aiheuttavia onnettomuuksia kymmenittäin joka vuosi. Tuskin kukaan rohkenisi tänä päivänä väittää sellaista tilannetta hyväksyttäväksi. Historia kertoo onneksi, että riski on ollut läntisissä teollisuusmaissa monta dekadia pienempi kuin asetettu tavoite. Missään ei ole sattunut onnettomuutta, joka olisi aiheuttanut lähellekään alemmaa annosrajaa 5 mSv ulottuvia seurauksia. Suuremmasta rajasta puhumattakaan.

## Suunnittelurajat tiukentumassa

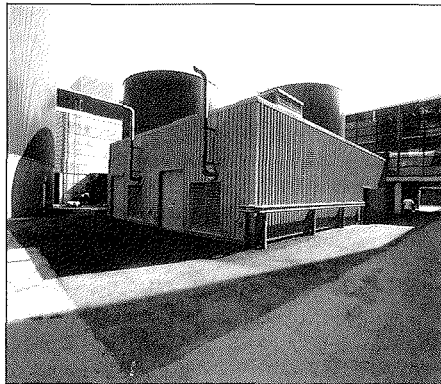
Englannissa Sizewell B-laitosyksikön suunnittelussa on käytetty tiukempia kvantitatiivisia tavoitteita. Tärkein tavoite on, että suuriin ympäristöpäästöihin johtavan onnettomuuden todennäköisyyden pitäisi olla pienempi kuin kerran miljoonassa vuodessa. Suuren päästön mittana on efektiivinen annosekvivalenttisuutta 100 mSv laitosalueen rajalla seisovalle suojaamattomalle henkilölle.

Englantilaisten tavoite on tuonut suunnittelun pohjana olleeseen painevesireaktoriin uusia turvallisuuspiirteitä, joten se on kiistämättä edistänyt kehitystä. Erityisesti on todettu, että tärkeiden turvallisuustehäviöiden hoitamiseen ei riitä pelkästään keskenään identtisten rinnakkaisten järjestelmien käyttö. Lisäksi on tarpeen käyttää samaa päämäärää palvelevia tekniikallista erilaisia järjestelmiä.

Jos englantilaisten tavoite saavutettaisiin kaikilla maailman ydinvoimalaitoksilla, ei lähimpien sadan vuoden aikana todennäköisesti sattuisi yhtäkään ympäristöä pahasti saastuttavaa ydinonnettomuutta. Tavoite onkin viime aikoina saanut ammattipiireissä yleistävää kannatusta. Esimerkiksi ranskalaisen ydinturvallisuusviranomaisen kirjeessä maan ydinvoimalaitokset toimitantaneelle yhtiölle esitettiin kuluun vuoden keväällä lähes vastaavia kvantitatiivisia turvallisuustavoitteita. Tarkoitus on, että niitä käytettäisiin yhtenä lähtökohdana suunniteltaessa vuoden 2000 tienoilla käyttöön otettavia ranskalaisia ydinvoimalaitoksia. Viranomaisen mukaan onnettomuusriskejä tulisi pienentää nykyisiin laitoksiin verrattuna noin kertoimella kymmenen.

IAEA:n pääjohtajalle neuvoja antavan asiantuntijaryhmän (INSAG) suositusten mukaan vakavan reaktorionnettomuuden todennäköisyys uudella laitosyksiköllä tulisi olla pienempi kuin kerran sadassatuhannessa vuodessa. Lisäksi suojarakennus tulisi suunnitella siten, että se estäisi merkittävät päästöt yhdeksässä vakavassa onnettomuudessa kymmenestä. Nämä tavoitteet sopivat hyvin yhteen englantilaisen ja ranskalaisen ajattelun kanssa.

Edelläesitetyn perusteella saattaa tuntua, että vastaus otsikon kysymykseen on alkanut hahmottua. Asiaan liittyy kuitenkin määrättyjä ongelmia. Yhtäältä puhutaan niin pienestä riskitasosta, että sen saavuttamista ei pystytä luotettavasti osoittamaan. Toisaalta suuren yleisön laajaa hyväksyntää tietyille numeeriselle riskille (miten pienelle hyvänsä) tuntuu mahdolliselta saavuttaa. Hyväksynnän saavuttaminen edellyttäisi vähintään sitä, että ydinkatastrofiin assosioituiden kauhu-kuvat voitaisiin korvata realistisella käsityksellä vakavaan onnettomuuteen liittyvän saastumisen seurauksista. Tämän tiedon perille saamiseksi en kuitenkaan näe mitään mahdollisuutta, koska suuri yleisö ei pysty erottamaan oikeata tietoa yleisemmin levitetävän kauhupropagandan seasta.



*Vuonna 1990 valmistui Loviisan varahätäsyöttövesijärjestelmä, joka varmensi höyrystimille tarvittavan syöttöveden saannin entisestäänkin. Kuvassa järjestelmän pumppaamo ja takana vesisäiliöt. Tarvittava putkisto neljälle höyrystimelle molemmilla laitosyksiköillä täydentää järjestelmän, joka osaltaan varmistaa turvallisuutta esimerkiksi turbiinisalin suuren tulipalon aikana.*

## Suomessa tiukan konservatiivinen linja

Sumessa on ydinvoimalaitosten turvallisuusvaatimukset esitetty valtioneuvoston tuoreessa päätöksessä (395/91). Se ei sisällä kvantitatiivisia tavoitteita onnettomuustodennäköisyydelle. Sen sijaan se antaa kvalitatiivisia vaatimuksia, joiden täyttäminen johtaa käytännössä yhtä hyvään tulokseen kuin tiukimmat kvantitatiiviset vaatimukset. Tällä menettelyllä on haluttu välttää todennäköisyyspohjaisiin analyyseihin välttämättä sisältyvien epävarmuuksien aiheuttamilta ongelmilta.

Todennäköisyyspohjaisia turvallisuustarkasteluja toki vaaditaan STUK:n julkaisemissa YVL-ohjeissa, ja numeerisia tavoitteita annetaan järjestelmien luotettavuudelle.

Yleisenä periaatteena STUK:ssa on pidetty aina Loviisan voimalaitoksen suunnitteluvaiheesta alkaen sitä, että Suomessa ja pienissä maissa yleensä tulee pyrkiä korkeampaan turvallisuustasoon kuin suurvalloissa. Pienelle maalle olisi yhdenkin ydinvoimalaitosyksikön menetys ja onnettomuuteen mahdollisesti liittyvä alueellinen saastuminen suhteellisesti paljon raskaampi isku kuin suurvalloille, jonka sähköntuotannossa yksi laitos edustaa alle prosentin suuruusluokkaa. Toisena periaatteena on, että laitos tulee riskien vähäisyydestä huolimatta sijoittaa harvaan asutulle seudulle ja riittävän kausan pääkaupungista. Kolmantena periaatteena on ollut turvallisuusvaatimusten kehityksen ennakoiti siten, että meille ei rakenneta laitoksia, jotka olisivat jo valmistuessaan kansainvälisestä kehityksestä jäljessä.

Uuden ydinvoimalaitosyksikön turvallisuusarvioinnissa STUK on lähtenyt siitä, että riittävä turvallisuustaso voidaan saavuttaa pääpiirteissään nykyisiä kevytvesireaktorilaitoksia vastaavalla tekniikalla.

Ei kuitenkaan niin, että VNP 395/91 vaatimukset täytettäisiin vain rimaa hiipoen. Esimerkiksi TVO:n laitoksesta on STUK:n julkaisemassa arvioinnissa todettu, että se täyttää uudet vaatimukset. Siitä huolimatta STUK ei olisi valmis puoltamaan identtisen laitoksen rakentamista vanhojen rinnalle.

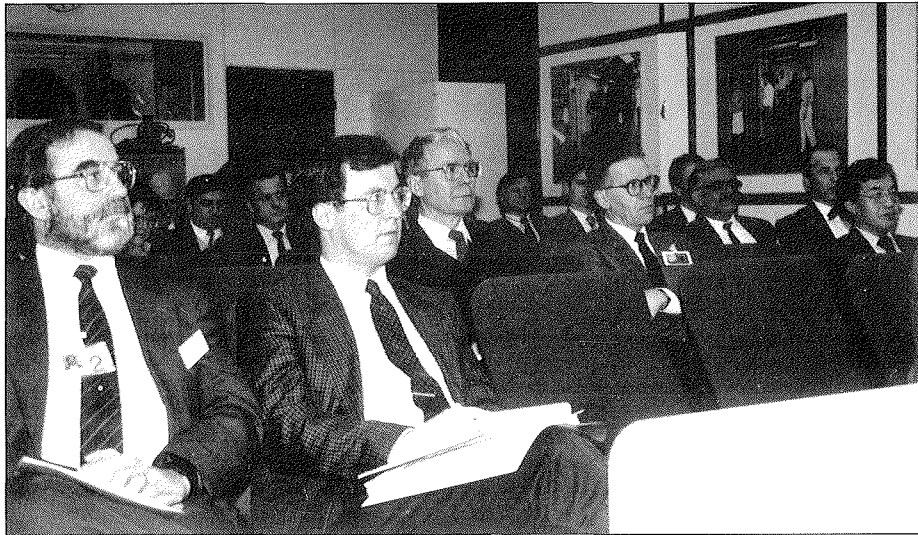
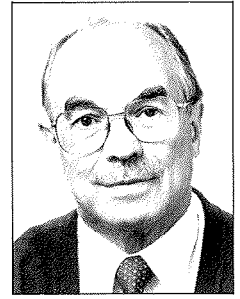
## Turvallisuutta on parannettava jatkuvasti

STUK:ssa vallitsevan kannan mukaan turvallisuustaso ei voi koskaan olla niin hyvä, etteikö sitä voisi vielä parantaa. Parannusideat syntyvät jatkuvan evoluution tietä, kun opimme kokemuksista ja tutkimustuloksista uusia asioita. Parannukset eivät saa merkitä laitoksen monimutkaistumista eivätkä ne tällöin yleensä aiheuta myöskään lisäkustannuksia. Pääasia, että osaamme tehdä tietyt asiat paremmin kuin ennen. TVO:n laitosta ajatellen osaisimme valita korroosiota paremmin kestävästä putkistomateriaalista sekä suunnitella primääripiirin ylipainesuojauksen ja reaktorin sammutuksen entistä luotettavamaksi. Ohjaajan toimintaa voisimme helpottaa uusilla automaatiojärjestelmillä. Suojarakennuksesta osaisimme eliminoida ne vähäisetkin riskitekijät, jotka voisivat estää painetta rajoittavan höyryn lauhutuksen rakennuksen pohjalla olevassa vesialtaassa.

STUK:n kannalta otsikossa esitettyyn kysymykseen ei siis ole yhtä ja muuttumatonta vastausta. Tietty ydinvoimalaitos on riittävän turvallinen vain silloin, kun se vastaa kulloinkin vallitsevan tiedon mukaan parasta saavutettavissa olevaa tasoa. Uudelle laitokselle asetetaan aina tiukempia tavoitteita kuin käytössä jo oleville. Laitoksen käyttöönoton jälkeen aletaan välittömästi miettiä, mitä parannuksia siihen vielä voitaisiin tehdä. ”Riittävä turvallisuus” on liikkuva maali, johon on opittava tähtäämään. Se on realiteetti, joka tunnustetaan nykyisin useimmissa ydinvoimaa käyttävissä maissa. □

TkL Jukka Laaksonen on säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusosaston päällikkö. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1973 ja oli Seuran johtokunnassa vuosina 1984-1986 sekä varapuheenjohtaja vuonna 1986.  
Puh. 90-70821.

# Ydinturvallisuus — kansainvälistä yhteistyötä parhaimmillaan



Ydinenergian hyväksikäyttö on periaatteessa yksinkertaista. Tästä on osoitukseksi Oklon reaktorit Afrikassa, jotka pari miljardia vuotta sitten syntyivät itsestään, uraanin ja veden yhteisvaikutuksesta.

Todellisuudessa ydinenergian teollinen hyödyntäminen luotettavasti ja turvallisesti on erittäin vaativaa teknikkaa, jonka kehittämiseen ei monenkään maan omat resurssit riitä. Varsinkin pienet maat ovat riippuvaisia muualla tehdystä tutkimus- ja kehitystyöstä. Näin ollen kansainvälinen yhteistyö on avainasemassa.

Se tutkimus- ja kehitystyö, joka aikanaan johti ydinaseisiin, tuotti myöskin paljon ydinenergian rauhanomaista käyttöä palvelevaa tietoa. Tätä ydinvaltiot varjelivat toisen maailmansodan jälkeisinä vuosina tarkasti.

Genevessä vuonna 1955 pidetty ensimmäinen ydinenergiaa käsittelevä kansainvälinen konferenssi merkitsi käännekohdaksi tässä suhteessa. Suuret ydinasevaltiot USA ja Neuvostoliitto julkistivat ydinenergiatietouttaan ennen näkemättömällä tavalla.

Samoihin aikoihin USAn presidentti Eisenhower julkisti ”Atoms for Peace” -ohjelmansa, jonka tarkoitus oli edesauttaa ydinenergian hyödyntämistä kaikkialla maailmassa. Siitä lähtien kun esteet oleellisten, ydinenergian rauhanomaisen käytön edellytyksenä olevien tietojen vaihdolle poistuivat, tietojen vaihto kansainvälisellä tasolla on ollut vilkasta. Viimeaikaiset poliittiset mullistukset Euroopassa ovat edelleen lisänneet kanssakäymisen ja tiedonvaihdon mahdollisuuksia.

***Kansainvälistä yhteistyötä harrastetaan laajamittaisesti monella eri tasolla: koko maailmaa kattavasti, alueellisesti, bilateraalisesti tai erilaisten organisaatioiden välillä. Sellaisia organisaatioita ovat viranomaiset, tutkimuslaitokset, voimayhtiöt, ammatilliset järjestöt jne. Lopputuloksena on moninainen yhteyksien verkko, joka kattaa ydinenergian ja sen sovellutusten koko kentän. Eri-laiset yhteistyöorganisaatiot ovat syntyneet laajalti toisistaan riippumatta, eikä päällekkäisyydeltä ole kokonaan välttytty. Tärkeämpää on kuitenkin, että toimivia yhteistyökansioita ja -muotoja on.***

## The International Atomic Energy Agency (IAEA)

IAEA perustettiin v. 1957 ja Suomesta tuli sen ensimmäinen valittu jäsen v. 1958. Perussäännön mukaan IAEA:n tehtävä on ”edistää ja laajentaa atomienergian hyväksikäyttöä rauhan, terveyden ja hyvinvoinnin edistämiseksi koko maailmassa. Järjestön tulee huolehtia siitä, ettei sen toimittamaa ja sen pyynnöstä tai valvonnassa toimitettua apua käytetä sotilaallisten tarkoitusten edistämiseksi”.

IAEA:n tehtäväkenttä on tällä hetkellä

Loviisan voimalaitoksen OSART-tarkastuksen päätöstilaisuus vuonna 1990. Edessä vasemmalta IAEA:n tarkastajien päällikkö Keith W. Hide ja voimalaitosjohtaja Jussi Helske. Toisessa rivissä tilaisuutta seurasi pääjohtaja Antti Vuorinen ja osastopäällikkö Jukka Laaksonen.

varsin laaja, keskittyen kahteen pääalueeseen, ydinmateriaalin valvontaan ja ydin-alan tiedon levittämiseen ja tiedonvaihdon edistämiseen.

IAEA:n toimintaa ydintekniikan ohjeiden laatijana, konferenssien ja asiantuntijakokousten järjestäjänä, tietopankkina, kouluttajana, kehitysmaiden avustajana ydintekniikka-asioissa voidaan pitää merkittävänä. Aivan viime vuosiin saakka IAEA:n rooli on lisäksi ollut tärkeä idän ja lännen kohtaamispaikkana. On sellaisia ydintekniikan aloja, esim. käyttöökemustietojen vaihto, joilla yhteistyö idän ja lännen välillä on käytännössä ollut mahdollista vain IAEA:n välityksellä.

IAEA:n toinen päätehtävä, ydinmateriaalin valvonta, on osoittautunut käytännössä hyvin vaikeaksi. Pääsyy tähän ovat järjestön varsin rajoitetut mahdollisuudet suorittaa tarkastus- ja valvontatyötä tarpeellisessa laajuudessa. IAEA:n valtuudet rajoittuvat periaatteessa siihen materiaaliin ja laitteistoon, jonka järjestö itse on toimittanut tai sellaiseen, joka muuten on alistettu IAEA:n valvonnan alalle. Kaikki valtiot eivät ole allekirjoittaneet ydinsulkusopimusta eivätkä salli IAEA:n vapaata toimintaa.

IAEA:n toiminta reaktoriturvallisuuden edistäjänä on merkittävää. Järjestö on julkaissut sarjan turvallisuuteen liittyviä ohjeita, joita erityisesti sovelletaan maissa joissa ei ole riittävää kansallista ohjeistoa, mutta ne palvelevat laajemmaltikin referenssinä.

Viime vuosina järjestö on käynnistänyt uusia toimintamuotoja, kuten OSART ja ASSET. OSART (Operation Safety Review Team) tarkoittaa kansainvälisen asiantuntijaryhmän IAEA:n valvonnassa tapahtuvaa käyntiä ydinvoimalaitoksella, jonka käyttötoiminnan arviointia kohde-maa on pyytänyt. Vastaavasti ASSET (Assessment of Safety Significant Event Team) kohdistuu laitoksilla tapahtuneisiin häiriöihin, niiden syiden selvittämiseen ja opetusten hyödyntämiseen. Tavoitteena on turvallisuustason nostaminen, erityisesti heikoimpien laitosten osalta. Viime vuosina paljon huomiota on kiinnitetty Neuvostoliiton ja Itä-Euroopan maiden vanhojen reaktoreiden turvallisuuteen. Siihen ovat vaikuttaneet

Tshernobylin onnettomuus sekä Itä-Euroopan poliittiset muutokset. IAEA on liittänyt aktiivinen Tshernobylin onnettomuuden seurauksen selvittämisessä sekä vanhimpien reaktoreiden turvallisuuden arvioinnissa.

IAEA on yhteistyössä OECD/NEA:n kanssa jo pitemmän aikaa huolehtinut ydinvoimalaitosten merkittävien tapahtumien raportoinnista. Tietojen välittäjänä molempiin suuntiin toimivat kansalliset reaktoriturvallisuusviranomaiset. IAEA tukee myöskin tutkimusta ja koordinoi ja ylläpitää useita tutkimusprojekteja.

IAEA:n palveluksessa on jatkuvasti ollut suomalaisia, jotka tällä tavalla ovat saaneet arvokasta kokemusta ja kansainvälisiä kontakteja, joita on myöhemmin voitu hyödyntää kotimaassa.

## OECD/NEA

Vuonna 1957 silloiset 14 OECD-maata perustivat European Nuclear Energy Agency (ENEA) -nimisen organisaation. Tämän organisaation päämäärät poikkeivat IAEA:n vastaavista, mm. ENEA ei ollenkaan puuttunut ydinaineiden valvontaan, vaan keskittyi ydintekniikan edistämiseen ja yhteisten yritysten luomiseen. Vuonna 1972 organisaation nimi muutettiin Nuclear Energy Agencyksi (NEA). Suomi ei ollut alusta saakka mukana, vaan liittyi NEA:aan vasta myöhemmin. NEA:aan kuuluu nyttemmin 19 Euroopan maata sekä lisäksi USA, Kanada, Japani ja Australia.

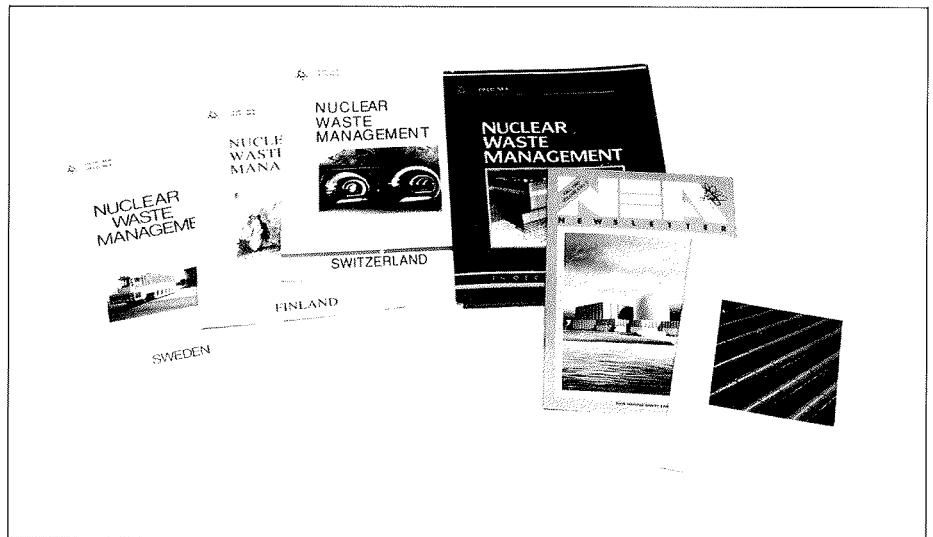
NEAn tehtävät on määritelty seuraavasti:

- Edistää jäsenmaiden hallitusten välistä yhteistyötä ydinenergian turvallisuuteen ja käyttöön liittyvissä kysymyksissä
- Teknis-taloudellisten kysymysten tekeminen ydinpolttoainekierron tekemisestä
- Ennusteiden tekeminen ydinvoiman tuotannosta ja energian tarpeesta
- Teknisen ja tieteellisen informaation vaihto
- Yhteisten tutkimus- ja kehitysprojektien koordinointi ja tukeminen

NEAn ensimmäisiä suuria projekteja olivat Belgiassa oleva Eurochimicin jälleenkäsittelylaitos, joka sittemmin on poistettu käytöstä. Toinen oli kaasujäähdytteinen korkealämpötilareaktori Dragon Englannissa.

Suomea kiinnostavampi projekti on Halden-reaktori Norjassa, jossa Suomi on ollut mukana jo ennen liittymistä NEA:an. Halden-projektiin puiteissa on tehty hyvin ansiokasta työtä erityisesti polttoainetekniikan ja valvomotekniikan alalla.

NEA koordinoi lisäksi joukon muita tutkimus- ja kehitysprojekteja, joita käsi-



tellään lähemmin edempänä. NEA ylläpitää Ranskassa tietopankkia, jonka tehtävänä on länsi-eurooppalaisten ja japanilaisten ydinteknisten tietojen ja tietokoneohjelmien testaus ja jakelu. Lisäksi organisaatio harrastaa vilkasta julkaisutoimintaa, sekä järjestää seminaareja, symposiumia ja muita tieteellisiä kokouksia.

NEAn työhön on aktiivisimmin osallistunut Suomen osalta VTT ja STUK, mutta viime vuosina voimayhtiöidenkin rooli on kasvanut.

## Pohjoismaiset yhteistyöelimet

Radioekologian alueella pohjoismainen yhteistyö käynnistyi jo 1950-luvulla ydinpommikokeiden aiheuttaman laskeuman tutkimisen edistämiseksi. Vuonna 1957 perustettiin Pohjoismaiden neuvoston aloitteesta Pohjoismainen atomienergia-yhteistyöelin NKA (Nordiska kontaktorganet för atomenergifrågor), jonka tehtävänä oli edistää pohjoismaiden yhteistyötä jäsenmaita kiinnostavissa, ydinenergian rauhanomaiseen käyttöön liittyvissä kysymyksissä. NKA toimi Pohjoismaiden ministerineuvoston alaisuudessa vuoteen 1990 saakka. Silloin se irrotettiin yhteisestä pohjoismaisesta budjetista, jonka jälkeen Ruotsi erosi NKA:sta. Tämä merkitsi käytännössä NKA:n toiminnan loppumista ja yhteistyö jouduttiin organisoidaan uudella tavalla.

NKA:n aloitteesta muodostettiin vuonna 1970 Pohjoismainen reaktoriturvallisuuden työryhmä NARS (Nordiska arbetsgruppen för reaktorsäkerhet). Tämä ryhmä julkaisi vuonna 1975 reaktoriturvallisuutta koskevia suosituksia sisältävän raportin.

Vuonna 1975 muodostettiin NKA:n alaisuuteen ad hoc-ryhmä jossa oli viranomaisten, tutkimuslaitosten ja voimayhtiöiden edustajia. Ryhmän tehtävänä oli selvittää edellytykset laajemmalle pohjoismaiselle yhteistyölle reaktoriturvallisuustutkimuksen alalla. Ryhmästä tuli sittemmin pysyvä, ja se tunnetaan nyt nimellä

Pohjoismainen turvallisuustutkimuskomitea NKS (Nordiska kommittén för säkerhetsforskning). Vuonna 1977 käynnistettiin Pohjoismaiden ministerineuvoston aloitteesta nelivuotinen ydinturvallisuutta koskeva tutkimusohjelma. Tähän mennessä kolme tällaista ohjelmaa on viety läpi ja neljäs ohjelma on käynnissä. Ministerineuvosto on vastannut ohjelmien osittaisesta rahoittamisesta, kuitenkin niin, että kansallinen rahoitus on ollut vähintään puolet koko rahoituksesta. Ministerineuvoston rahoitus on tyypillisesti ollut n. 25 miljoonaa Norjan kruunua ohjelmaa kohti.

Ohjelmat ovat varsin laajasti kattaneet reaktoriturvallisuuden osa-alueet, niinkuin myöhemmin tarkemmin esitetään.

## Euroopan yhteisö ja EURATOM

Vuonna 1958 perustettiin silloisten hiili- ja teräsunionin maiden, n.s. kuutosmaiden toimesta EURATOM-niminen yhteinen ydinenergiaorganisaatio yhteistyön edistämiseksi. Kuutosmaista on sittemmin muodostunut tämän päivän Euroopan yhteisö kuuden muun maan liityttyä ryhmittymään. EURATOM vastaa mm. usean tutkimuslaitoksen (Ispra, Karlsruhe, Mol ja Petten) toiminnasta, ydinmateriaalien yhteismarkkinoiden hallinnasta ja lukuisista muista ydinenergian käyttöön liittyvistä tehtävistä.

Koska Suomi ei ole EY:n jäsen, sillä on ollut vain rajoitetusti yhteyksiä Euratomiin. Vuodesta 1985 lähtien Suomella on ollut kaksi tarkkailijajäsentä EY:n komission (Commission of the European Communities) alaisuudessa toimivassa reaktoriturvallisuutta käsittelevässä työryhmässä. Tätä tietä on mm. saatu runsaasti tutkimusraportteja komission tilaamista tutkimushankkeista. Tarkkailija-asemasta huolimatta suomalaiset edustajat toimivat samalla tavalla ja saavat osakseen samat edut kuin varsinaiset jäsenetkin, komissio korvaa mm. matkakulut Brysselissä pidettäviin kokouksiin.



## Yhteistyö- ja muita sopimuksia

Yhteistyöstä on sopimuksilla sovittu sekä valtiollisella tasolla että eri organisaatioiden välillä. Valtio on esim. solminut Neuvostoliiton, Norjan, Ruotsin ja Tanskan kanssa ydinlaitoksia ja ydintapahtumia koskevasta tiedonvaihdosta sekä Pohjoismaiden välisestä hätäavusta säteilyvahinkotapauksissa. Valtio on lisäksi solminut joukon sopimuksia IAEA:n kanssa, mm. koskien ydinaseiden leviämisen estämistä, bilateraaliosopimuksia koskien atomiennergian rauhanomaista käyttöä USA:n, Ison-Britannian ja Neuvostoliiton kanssa sekä sopimuksia koskien ydinmateriaalia Australian ja Kanadan kanssa.

Kauppa- ja teollisuusministeriö on solminut yhteistyösopimuksen EY:n ja neuvostoliittolaisen Minatomenergopromin kanssa (vv 1977—1989 sopimuskumppanina oli Neuvostoliiton atomiennergian käytön valtion komitea GKAE). Edellinen koskee yhteistyötä jätehuollon alalla, jälkimmäinen tieteellis-teknistä yhteistyötä yleisesti ydinenergian rauhanomaisen käytön alalla, ja sen puitteissa on lähinnä pidetty yhteisiä seminaareja.

Säteilyturvakeskus (STUK) on solminut yhteistyösopimuksen USA:n Nuclear Regulatory Commissionin (NRC) kanssa sekä puolalaisen vastaavan viranomaisen kanssa.

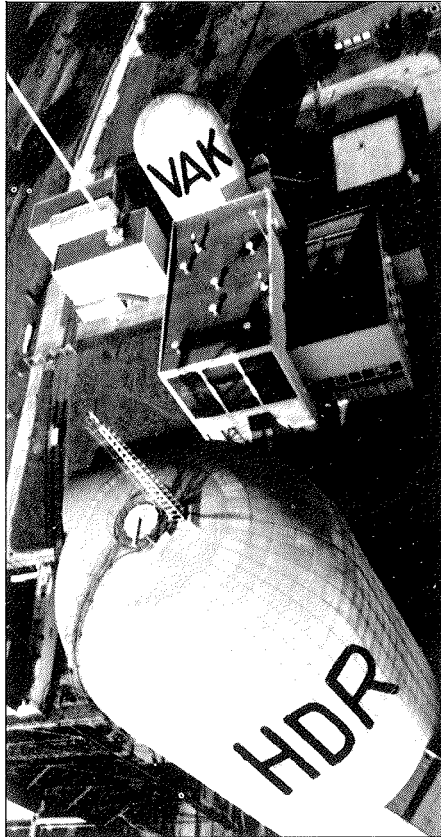
## Yhteistyönä suoritettavat tutkimushankkeet

Suuri osa ydintekniikan tutkimustyöstä suoritetaan kansainvälisenä yhteistyönä. Edellä mainitut kansainväliset organisaatiot huolehtivat omista tutkimusohjelmistaan. Niiden lisäksi hyvin monet tutkimusprojektit perustuvat erillisiin sopimuksiin multi- ja bilateraalilla pohjalla.

Suomi on mukana varsin monessa tämänlaatuisessa hankkeessa. Suomalaisena vastuullisena osapuolena on tutkimuslaitos (VTT, Geologinen tutkimuslaitos), viranomainen (STUK) tai voimayhtiö (IVO, TVO) tai kombinaatio näistä.

IAEA:n koordinoimista tutkimushankkeista Suomi osallistuu seuraaviin aihepiireihin: Käytetyn ydinpolttoaineen pitkäaikaisvarastointikestävyys, ydinvoimalaitosmateriaalien vanheneminen ja vesikemiaan liittyvät korroosioilmiöt, säteilyvauriotutkimus, yleisen ydinvoimalaitossimulaattorin mallinnus, polttoaineen palamannoston kannattavuus ja ydinmateriaalivalvonta.

OECD/NEA:n tutkimusohjelmissa Suomi on ollut kauan aktiivisesti mukana, erityisesti Halden-projektissa niinkuin jo edellä mainittiin. Muita Suomen kannalta kiinnostavia projekteja ovat Stripa-projektiin ydinjätteiden loppusijoitustutkimukset Ruotsissa, TMI:n reaktoripaineastian materiaalitutkimukset sekä ydinvoimalaitosten raskaiden teräskomponenttien testaustekniikan ja sen luotetta-



*HDR-tutkimusohjelman täyden mittakaavan kokeet tehdään käytöstä poistetun ydinvoimalaitoksen komponenteille ja rakenteille. Laitos sijaitsee Saksassa Frankfurtin lähistöllä.*

vuuden kehittäminen (yhteistyössä Eurooppakomission kanssa).

Pohjoismainen tutkimusohjelma on, kuten jo edellä ilmeni, laaja ja monivahainen. Jo loppuun saatettujen ja parasta aikaa käynnissä olevan tutkimusohjelman pääaineet, jotka usein on jaettu moneen alakohtaan, ovat seuraavat:

Ensimmäinen ohjelma, 1977—1980

- Laadunvarmistus
- Reaktorijätteet
- Valvomon suunnittelu
- Radioekologia
- Viranomaisten yhteistyö

Toinen ohjelma, 1981—1985

- PRA
- Pienten vuotojen laskentakoodit
- Lämmönsiirtokorrelaatiot turvallisuusanalyysissa
- Korroosio ydinteollisuudessa

Kolmas ohjelma, 1985—1989

- Aktiivisuuden leviäminen suojarakennuksen sisällä
- Aktiivisuuden leviäminen ja ympäristövaikutukset
- Jätteiden käsittely
- Riskianalyysi ja turvallisuusfilosofia
- Materiaalitekniikka
- Nykyaikainen informaatiotekniikka

Neljäs ohjelma, 1990—1993

- Valmius epänormaaleissa säteilytilanteissa
- Ydinjäte ja käytöstäpoisto
- Radioekologia
- Reaktoriturvallisuus — tietopohjainen valmius

Monet organisaatiot (tutkimuslaitokset, viranomaiset, voimayhtiöt) ovat osallistuneet näihin ohjelmiin, ja niiden henkilököiden määrä, jotka tavalla tai toisella ovat osallistuneet tähän toimintaan on hyvin suuri.

**EY:n tutkimusprojekteihin** osallistutaan VTT:n kautta. Aiheet ovat ydinjätetutkimus, ohjelmistojen laatu- ja luotettavuuskysymykset. ESPRIT-ohjelma (Information Technology Support for Emergency Management), inhimilliset virheet sekä eurooppalainen fuusioyhteistyö.

Tutkimussopimuksia on lisäksi solmittu monien eri maissa toimivien organisaatioiden kanssa, joista tämän esityksen puitteissa ei voida antaa tyhjentävää kuvaa.

**Yhdysvaltalaisen Electric Power Research Institute'n** kanssa on yhteistyötä usealla alalla: vakavat reaktorionnettomuudet, reaktorin sisäosien jännityskorroosio sekä tiedonvaihto yleensä.

**NRC:n (Nuclear Regulatory Commission)** kanssa tehtävät yhteistyökohteet ovat jäähdytteenmenetysonnettomuuksien analysointiohjelmien verifiointi, vakavien reaktorionnettomuuksien kokeellinen tutkimus ja laskentamenetelmien kehitystyö sekä PTS-(pressurized thermal shock) yhteistyö. Vuosina 1976—1982 suoritettiin laajamittainen ns. LOFT-koesarja reaktorin onnettomuuskäyttäytymisestä käytäen Idahossa olevaa oikeaa reaktoria. Työtä jatkettiin sittemmin NEA:n projektina vuosina 1983—1985.

**Neuvostoliiton ja Suomen** välisestä tutkimusyhteistyöstä voidaan mainita MR-projekti, jossa tutkitaan polttoaineen käyttäytymistä normaalissa käytössä sekä MARIA-projekti, jossa Puola on isäntämaana mukana, ja jossa tarkoitus on selvittää polttoaineen onnettomuuskäyttäytymistä. Vuosina 1976—1981 vietiin läpi VTT:n ja VTI-instituutin tutkimusohjelma reaktorisydämen lämmönsiirrosta ja virtauksesta.

**Saksalaisessa HDR-tutkimusprojektissa** Suomi on ollut kauan mukana. Tutkimuskohteina ovat olleet mm. materiaalikysymykset, suojarakennuksen ja komponenttien kuormituskokeet, tulipalot, vedyn käyttäytyminen suojarakennuksessa sekä ulkopuolisen ruiskutuksen tehokkuus. Viimeksi mainittu koe on tehty IVO:n toimesta, osana Loviisan laitoksen parannusohjelmasta varautumiseen vakaviin sydänvaurioihin.

**Saksalaisen turvallisuusorganisaation GRS:n** kanssa IVO:lla on yhteistyösopi-

mus, jonka puitteissa on tehty suuri määrä onnettomuusanalyyssejä. VTT on osallistunut GRS:n eräiden tietokoneohjelmien kelpoistukseen.

**Ruotsalaisten organisaatioiden** kanssa on erillisiä yhteistyösopimuksia koskien ydinjäteksymyksiä, aktiivisten aineiden kulkeutumista biosfäärissä sekä polttoaineen käyttäytymistä. Marvikenin kesken-eräiseksi jääneellä reaktorilla vietiin vuosina 1972—1982 läpi kansainvälinen nelivaiheinen koeohjelma, jossa tutkittiin suojarakennuksen käyttäytymistä, kriittistä virtausta ja suihkun törmäysvoimaa.

Monen muun maan kanssa, kuten Belgian, Iso-Britannian, Italian, Kanadan, Norjan, Tanskan, Sveitsin ja Unkarin kanssa on yksittäisiä tutkimussopimuksia eri aiheista, yleensä liittyen onnettomuus-analyysseihin, ydinjätteen pitkäaikaiskäilytykseen, materiaalikysymyksiin tai polttoaineen käyttäytymiseen.

## Ammatilliset ja aatteelliset järjestöt

Ydinalalla toimivien henkilöiden ja yritysten välillä käydään vilkasta yhteistyötä monen kansainvälisen järjestön puitteissa.

**ENS (European Nuclear Society)** on perustettu vuonna 1975. Jäseniä ovat pääasiassa Länsi-Euroopan maiden ydintekniset yhdistykset. Tällä hetkellä jäsenyhdistyksiä on 22 kpl, sen jälkeen kun monet Itä-Euroopan maat (Neuvostoliitto, Tšekkoslovakia, Unkari, Romania) ovat liittyneet ENS:ään. Bulgaria aikoo kohta seurata esimerkkiä.

ENS:n päätehtävät ovat teknisen ja tieteellisen informaation sekä kokemuksen vaihto jäsenten kesken ja toisaalta tietojen levittäminen suurelle yleisölle helposti tajuttavassa muodossa. ENS julkaisee Nuclear Europe-Worldscan lehteä sekä ylläpitää nopeaa, telefaxin käyttöön perustuvaa NucNet-uutispalvelua.

**ANS (American Nuclear Society)** toimii samoin periaattein kuin ENS, mutta ANS:llä on vain muutamia jäsenseuroja USA:n ulkopuolella. Henkilöjäseniä on n. 15000.

**FORATOM** on kansallisten atomifoorumien muodostama yhdistys. Foorumien jäseninä ovat ydinvoimalaitosten ja niiden komponenttien ja laitteiden valmistajat, tutkimuslaitokset, rahoittajat sekä konsultit. FORATOMin tehtävä on edistää ydinenergian taloudellista tuotantoa tutkimalla ydinvoimateollisuuden ongelmia sekä esittämällä niiden ratkaisuja, esittämällä kannanottoja päättäjille sekä edistämällä yleisen tietämyksen leviämistä ydinenergian käytöstä.

**Kansainvälinen ydinlakiyhdistys INLA (International Nuclear Law Association)** toimii yhteistyöelimenä ydinenergiaan liittyvällä lainopillisella alalla sekä pyrkii

muutenkin edistämään ydinturvallisuutta ja ympäristönsuojelua sekä tiedonvaihtoa ydinenergian alalla.

**Uranium Institute (UI)** on vuonna 1975 perustettu elin, jonka jäseninä on sekä ydinpolttoaineen tuottajia että käyttäjiä. Tehtäviin kuuluu mm. uraanin käytön edistäminen rauhanomaisiin tarkoituksiin, uraanin tarpeen ja uraanivarojen tutkiminen sekä toiminta tietopankkina ja konsulttina uraaniin liittyvissä asioissa.

## Teollisuuden ja talouselämän yhteisjärjestöt

**World Energy Council (WEC)** on v. 1928 perustettu organisaatio, jonka toimialaan kuuluu koko energiakenttä, mutta ydinenergia esittää siinä tärkeää osaa. WEC:hen kuuluu tällä hetkellä 88 valtiota.

Toimintaan kuuluvat joka kolmas vuosi pidettävä World Energy Conference, pysyvät ja väliaikaiset komiteat, tekniset kokoukset, julkaisutoiminta sekä pysyvien edustajien pitäminen YK:ssa New Yorkissa, Pariisissa ja Wienissä.

**Kansainvälinen sähkölaitosyhdistys UNIPED (Union International des Distributeurs d'Énergie Electrique)** on v. 1925 perustettu yhdistys, johon kuuluu 26 aktiivista ja 13 liitännäisjäsentä 35 maassa, joista 24 on eurooppalaisia. Jäseniä ovat sähköhuollon alueelliset ja kansalliset yhdistykset.

UNIPEDen toiminta kohdistuu koko sähköalaan, mutta ydinenergiaan kiinnitetään merkittävää huomiota. Ydinenergian kysymyksiä hoitamaan on asetettu Nuclear Study Committee (yksi kymmenestä), jonka alaisuudessa toimii useita asiantuntijaryhmiä.

UNIPEDen toiminnasta oleellisen osan muodostavat joka kolmas vuosi pidettävät yleiskongressit. Lisäksi pidetään konferensseja erityisaiheista. UNIPEDen edustus YK:ssa, IAEA:ssa ja Eurooppakomissiossa on myös tärkeä toimintamuoto.

**Ydinvoimalaitosten käyttäjäyhdistys WANO (World Association of Nuclear Operators)**. Tämä organisaatio perustettiin v. 1989. Jäseninä ovat eri maiden ydinvoimalaitoksia käyttävien yritysten yhteenliittymät. Syynä perustamiseen oli yleinen käsitys, että uusi Tshernobyl olisi kohtalokas isku koko ydinenergiateollisuudelle. Paremmalla käyttökokemusten hyväksikäytöllä ja tiedon vaihdolla toivotaan päästävän parempaan turvallisuustasoon, etenkin heikoimmilla laitoksilla. WANO-järjestöön kuuluvat neljä aluekeskusta Atlantassa, Pariisissa, Moskovassa ja Tokiossa sekä koordinoitokeskus Lontoossa. Käyttötapahtumien raportoinnin lisäksi toimintaan kuuluvat oleellisina osina laitosvierailut sekä viime aikoina suoranainen apu (EY:n tuella) Itä-Euroopan vanhimmille ydinvoimalaitoksille.

## Muuta yhteistyötä

Suunnitteilla oleva Suomen viides ydinvoimalaitosyksikkö perustuu sekini laajalti kansainväliseen yhteistyöhön. Mikään tarjolla oleva vaihtoehto ei sellaisenaan sovellu Suomen olosuhteisiin eikä täytä Suomen voimassa olevia turvallisuus- ja muita vaatimuksia.

Erlaisia laitosvaihtoehtoja on täten kehitetty yhteistyönä IVOn ja TVOn sekä potentiaalisten laitostoimittajien kanssa. Nämä ovat ABB, Ruotsi; NPI/Siemens, Saksa/Ranska ja AEE, Neuvostoliitto.

Suomalaisten työpanos tässä kehitystyössä on ollut suuri, mutta toisaalta lopullinen suunnittelu nopeutuu ja laitoksen liensioinnin voidaan olettaa sujuvan suu-remmitta esteittä.

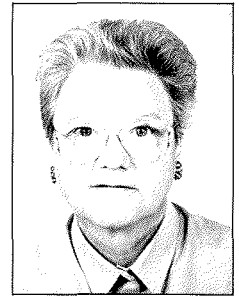
## Loppusanat

Edellä annettu kuvaus ydinalan yhteistyöstä, jossa Suomi on mukana on aiheen laajuudesta johtuen pintapuolinen. Yksityiskohtaista tietoa yhteistyömuodoista ja -hankkeista löytyy KTM:n julkaisusta "Suomi ja ydinenergia-alan kansainvälinen yhteistyö, yhteysshakemisto", joka on ilmestynyt vuonna 1991, ja jonka jäsentelyä pitkälti on tässäkin kirjoituksessa noudatettu.

Yhteistyön laajuus on sinänsä jo osoitus sen tärkeydestä. Ydinenergian tilanne on erityisesti Tshernobylin jälkeen ollut synkkä ja näkymät ovat edelleen vähemmän rohkaisevia. Käänte parempaan saadaan aikaan vain määrätietoisilla ponnituksilla. Kansainvälinen edelleen kehittyvä yhteistyö on tässä pyrkimyksessä merkittävä tekijä. □

TkL Bjarne Regnell toimii Imatran Voima Oy:ssä ydinturvallisuuden yhtiötönsä asiantuntijana. Hän on ATS:n perustajajäsen ja oli Seuran johtokunnassa vuosina 1975-1977. Puh. 90-5081.

# Säteilysuojelu takaa riittävän turvallisuustason



Ionisoivan säteilyn terveydellisistä haitoista on havaintoja jo samalta ajalta, eli viime vuosisadan lopulta, kun sen hyödyllisiä ominaisuuksia opittiin käyttämään hyväksi. Aluksi ei osattu välttää suuriakaan säteilyannoksia ja näin saatiin säteilyvammoja. Kun säteilyaltistuksen ja esim. pölvammojen yhteys ymmärrettiin alettiin vuosisadan alkupuolella rajoittaa saatavaa säteilyannosta. Raja oli varsin korkea myöhemmän tiedon valossa, se nimittäin vastasi n. 0.2 R päivässä. Myöskin käytetyt yksiköt ovat vaihdelleet ajan mukana säteilyn lajista, käyttäjästä ja käyttötarkoituksesta riippuen.

Yhdenmukaisuutta säteilysuojeluun on pyrkinyt aikaansaamaan v. 1928 perustettu Kansainvälinen säteilysuojelutoimikunta (ICRP). Aluksi se keskittyi silloisen nimensä mukaisesti röntgensäteilyyn ja radiumin lähettämään säteilyyn. Toimikunta sai nykyisen nimensä v. 1950 ja sen toiminta on vuosien mittaan laajentunut kattamaan nyt koko ionisoivan säteilyn sovellutuskentän.

Säteilysuojelun katsottiin 1950-luvulle asti olevan tyydyttävää mikäli yksilöiden annokset pysyivät asetettujen annosrajojen alapuolella. Annosrajojen päätehtävä aluksi olikin välttää havaittavia terveydellisiä haittavaikutuksia. Myöhemmin niiden tehtävä on myös rajoittaa syövä ja perinnöllisten vaikutusten esiintymistä.

Annosrajojen vertailu on vaikeaa, koska ne eri aikoina on ilmoitettu hyvin eri tavoin. Karkeasti voidaan kuitenkin sanoa että v. 1934 ja 1950 välillä ne pienenevät tekijällä kolme ja edelleen v. 1950 ja 1958 välillä vielä toisella tekijällä kolme. V. 1977 suosituksissa annosrajat eivät pienentyneet mutta niiden painotus muuttui.

ICRP:n suositusta pitää annokset mahdollisimman alhaisina ei yleensä noudatettu ennen 1970- ehkä jopa 1980-lukua. Tämä suositus sai nykyisen muotonsa v. 1977 suosituksissa kehottaen pitämään annokset niin alhaisina kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista ottaen huomioon taloudelliset ja sosiaaliset tekijät. Suosituksen korostaminen on johtanut merkittävään yksilöannosten alenemiseen ja täten vähentänyt tilanteita, joissa annosraja olisi määräävin tekijä säteilysuojelussa.

ICRP:n viimeisimmät suositukset on annettu v. 1991. Näitä käytetään viitemateriaalina tässä kirjoituksessa.



***Säteilysuojelun toiminta-ajatuksena on taata riittävä turvallisuustaso rajoittamatta tarpeettomasti säteilyn hyväksikäyttöä. Kansainvälisen säteily-suojelutoimikunnan (ICRP) yli kuusikymmentävuotinen työ on pyrkinyt antamaan yhdenmukaisen perustan ja kehyksen kansallisia säädöksiä laativille viranomaisille ja käytännön säteilysuojelun tueksi. Viimeisimmät kansainväliset säteilysuojelun perussuositukset ilmestyivät tänä keväänä. Suomen uusi säteilylaki, joka tulee voimaan vuoden 1992 alussa, noudattaa kansainvälisten säteilysuojelusuositusten yleislinjaa.***

Suomeen ensimmäiset röntgenkoneet hankittiin vuosisadan alussa. Säteilysuojelu oli pitkään yksittäisten lääkäreiden ja muiden käyttäjien tiedon varassa. Tiedon levittäjänä oli v. 1924 perustetulla Suomen radiologiyhdistyksellä suuri merkitys.

*Oikealla alikriittisen miilun alumiinisuojusputkiin suljettu uraani kuljetuslaatikoissaan ja vasemmalla grafiittiheijastin kuljetuspakkauksessa. Kuva on vuodelta 1958.*

Viisikymmentäluvun puolivälissä oli nähtävissä, että röntgenlaitteiden ja radioaktiivisten aineiden käyttö Suomessa oli saavuttamassa sellaiset mittasuhteet, että niiden turvallinen käyttö vaati lainsäädännön kehittämistä. Siihen asti toimintaa oli säädelty röntgenlaitteiden osalta sähkölaitteita koskevan lain pohjalta kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksellä röntgenlaitteista (203/45). Radioaktiivisten aineiden maahantuonnista oli säädetty myrkkylainsäädännössä. Tällöin röntgenlaitteita oli jo käytössä runsaat puoli-toista tuhatta ja säteilytyöntekijöitä 4000 henkeä.

Yli seitsemän vuoden valmistelun jälkeen valmistuivat säteilysuojelulaki ja asetus v. 1957, jotka heijastavat senaikaista vaatimuksia säteilysuojelusta ja pohjautuivat silloisiin kansainvälisiin suosituksiin. Nämä säädökset ovat voimassa tämän vuoden loppuun, jolloin uusi laki astuu voimaan. Käytännön säteilysuojelussa on kuitenkin seurattu niitä muutoksia, joita uudempi tutkimus on tuonut kansainvälisiin säteilysuojelusuosituksiin kuluneiden vuosikymmenten aikana.

## Säteilysuojelun biologinen tausta

Säteilysuojelun perustana käytetään parasta saatavilla olevaa biologista tietoa säteilyn vaikutuksista, mutta jotta siitä saadaan käytännön tarpeita palveleva järjestelmä joudutaan tekemään huomattavasti yksinkertaistuksia. ICRP käyttää niin paljon kuin on mahdollista ihmisistä tehtyjä havaintoja täydentäen niitä in vitro -tutkimusten ja eläinkokeiden antamalla tiedoilla.

Tiedot deterministisistä vaikutuksista on lähinnä saatu säteilyterapian sivutuotteina, vaikutuksista alkuaikojen radiologeihin, tiedoista Hiroshiman ja Nagasakin uhreista ja vakavien onnettomuuksien seurauksista.

Pääasialliset lähteet stokastisten vaikutusten arvioimiseksi ovat epidemiologiset tutkimukset Hiroshiman ja Nagasakin eloonjääneistä, eräistä potilasryhmistä, jotka ovat saaneet säteilyä hoitona tai diagnositsesti ja eräistä työntekijäryhmistä, jotka ovat työssään altistuneet säteilylle tai radioaktiivisille aineille.

Ionisoiva säteily aiheuttaa sekä deterministisiä että stokastisia vaikutuksia altistuneessa kudoksessa. Säteilysuojelussa pyritään välttämään deterministiset vaikutukset asettamalla annosrajat niiden esiintymiskynnyksen alapuolelle. Stokastisten vaikutusten uskotaan esiintyvän, vaikkakin alhaisella frekvenssillä, myöskin hyvin pienillä annoksilla. Tämän hypoteesin paikkansa pitävyyttä ei ole voitu osoittaa kokeellisesti.

Deterministiset vaikutukset syntyvät kun riittävä määrä soluja kuolee. Annoksen suuruus vaikuttaa determinististen vaikutusten vakavuuteen. Määrätyn kynnyksen alapuolella niitä ei esiinny. Stokastiset vaikutukset syntyvät eloon jäävien solujen muutosten tuloksena. Muutuneet somaattiset solut voivat latenssiajan kuluttua kehittyä syöväksi. Soluilla on korjaus- ja puolustusmekanismeja, joten tulos ei aina ole syöpä, mutta syövä todennäköisyys lisääntyy annoksen kasvaessa ja luultavasti ilman kynnysannosta. Annoksen suuruus ei vaikuta syövä vakavuuteen vaan ainoastaan sen todennäköisyyteen. Vastaavasti perinnölliset vauriot syntyvät muutoksista soluissa, jotka kantavat geneettistä informaatiota.

ICRP käyttää käsitettä kokonaishaitta (detriment) kuvaamaan vahingollisen terveysvaikutuksen esiintymistodennäköisyyden ja tämän vaikutuksen arvioidun vakavuuden yhdistelmää ja on päättänyt arvioida, että yhden Sv:n annos väestölle voi aiheuttaa 5 % kuolemaan johtavia syöpiä, 1 % muita syöpiä ja 1.3 % vakavia perinnöllisiä vaikutuksia. Vastaavat luvut työikäiselle väestölle 1 Sv:n annoksella ovat 4 %, 0,8 % ja 0,8 %.

### Säteilysuojelun toiminta-ajatus

Ionisoivaa säteilyä ja radioaktiivisia aineita on aina esiintynyt ympäristössämme ja meissä itsessämme. Ihminen on kehittänyt ionisoivaan säteilyyn perustuvia sovellutuksia lääketieteeseen, teollisuuden, maatalouden ja tutkimuksen käyttöön, joilla on suuri merkitys ihmisten hyvinvoinnille. Koska ionisoivalla säteilyllä kuten monilla muillakin asioilla on myös haitallisia vaikutuksia tarvitsee jonisoivaa säteilyä sisältävä toiminta järjestää siten, että siitä tulevat haitat jäävät mahdollisimman pieniksi. Niinpä säteilysuojelun toiminta-ajatuksena onkin aikaansaada riittävä suojelutaso rajoittamatta tarpeellisesti säteilyn positiivisten ominaisuuksien hyödyntämistä.

Pidettäessä kriteerinä ihmisen suojeleminen riittävää tasoa ei muita lajeja ole unohdettu vaan katsotaan, että tämä taso takaa muiden lajien turvallisuuden lajina vaikkakin joissakin olosuhteissa jonkin muun lajin kuin ihmisen yksilöiden suojelemiseen se ei välttämättä riitä.

### Kansainväliset säteilysuojelun periaatteet

ICRP:n uusimmissa suosituksissa (1991) erotetaan säteilysuojelua sovellettaessa

kaksi erilaista tilannetta erityisesti sen vuoksi että aikaisempien suositusten annosrajoja alettiin käyttää tilanteissa, joihin niitä ei ollut suunniteltu.

- 1) Silloin kun voidaan vaikuttaa säteilylähteen suunnitteluun, rakentamiseen ja käyttöön kohdistetaan vaatimukset siihen toimintaan (engl. practice; STUK: praktiikka), joka lisää ihmisten säteilyannosta. Tällaisesta praktiikasta tiedetään toisaalta, että annokset lisääntyvät ainakin vähän, kuten esim. työntekijät saavat säteilyä jonkin verran normaalityössään (varmuudella altistuminen) röntgenlaitteilla tai tietyissä paikoissa ydinvoimalaitoksissa. Toisaalta kaikessa inhimillisessä toiminnassa voi myös sattua onnettomuuksia ja on välttämätöntä pitää sellaisten sattuminen mahdollisimman epätodennäköisenä, koska niissä voi potentiaalisesti saada suuriakin annoksia (potentiaalinen altistuminen).
- 2) Toinen tilanne on silloin kun säteily tai radioaktiiviset aineet ovat jo ympäristössä ja on ainoastaan mahdollista pienentää sitä säteilyannosta, joka saataisiin, jos ei mihinkään vastatoimenpiteisiin ryhdytä (interventio). Esi-merkkejä tällaisista tilanteista ovat radon olemassaolevista tiloista ja onnettomuuden seurauksena tai jostain vanhasta toiminnasta ympäristöön levinneet radioaktiiviset aineet.

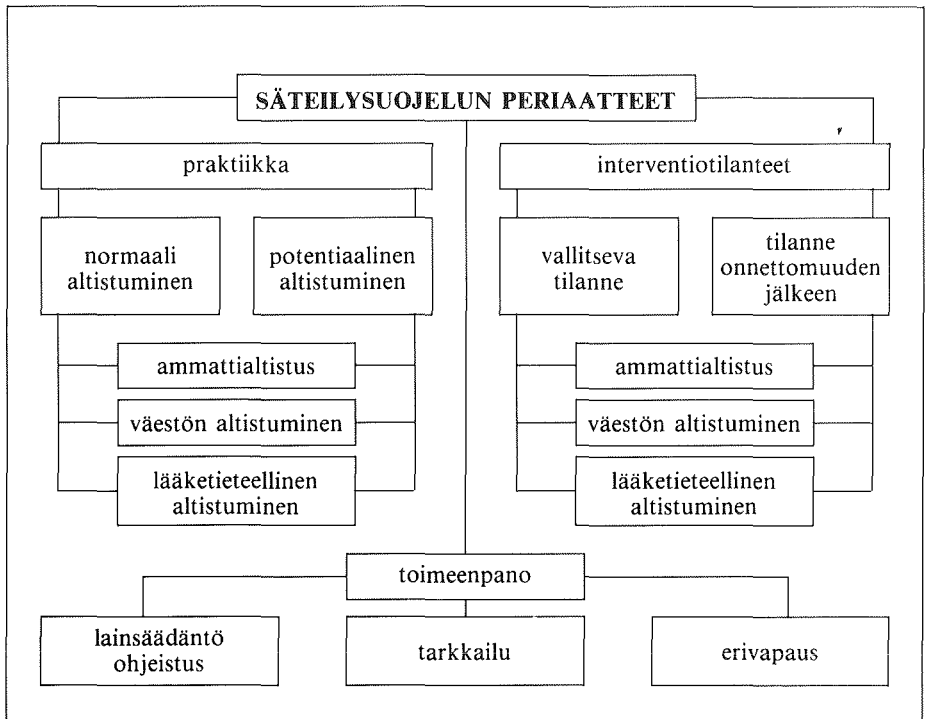
Edellä kuvatuissa tilanteissa painottuvat myös säteilysuojelun kaksi eri tarkastelunäkökulmaa eri tavoin. Lähdekeskeisessä tarkastelussa asetetaan vaatimukset ja valvonta keskitetään lähteeseen kun taas yksilökeskeisessä tarkastelussa katsotaan tilannetta säteilyä saavan yksilön kannalta, joka voi saada säteilyä useista lähteis-

tä. Molemmat tarkastelukulmat on otettu huomioon säteilysuojelun periaatteissa.

Kansainväliset säteilysuojelusuositukset käsittävät kolme peruseriaatetta: oikeutuksen, optimoinnin ja yksilön suojan. Niiden tulee kaikkien täyttyä yhtäaikaan.

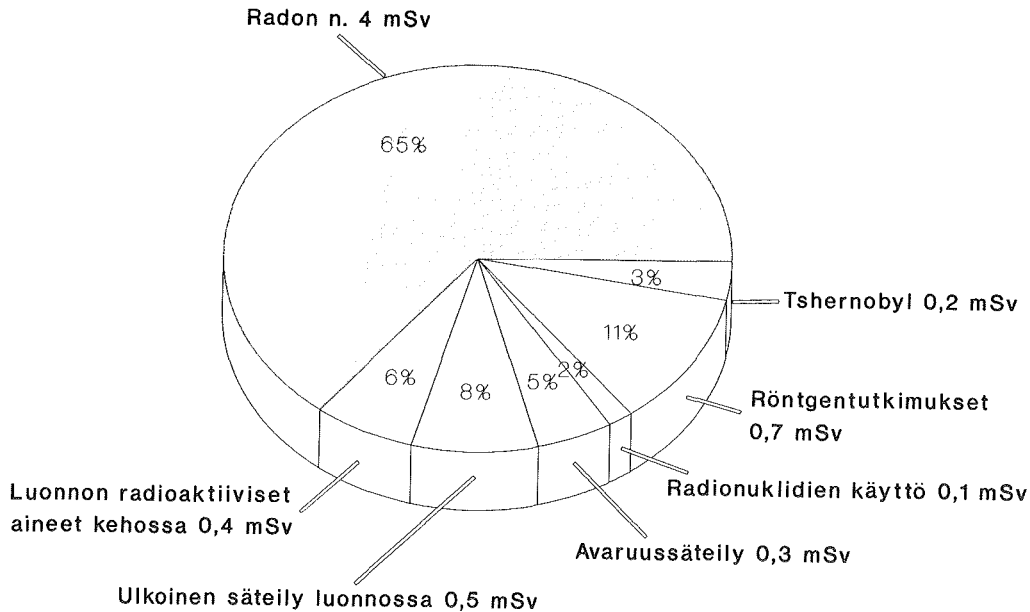
Silloin kun niitä sovelletaan praktiikkaan suositellaan, että

- 1) praktiikkaa ei oteta käyttöön mikäli sillä ei saada aikaan enemmän hyvää altistetuille yksilölle tai yhteiskunnalle kuin mitä sen tuottama kokonaishaitta on (oikeutusperiaate),
- 2) praktiikan sisältämistä lähteistä saatavat yksilöannokset, altistuneitten ihmisten lukumäärä ja potentiaalisten altistusten todennäköisyys on pidettävä niin vähäisinä kuin on käytännön toimin mahdollista ottaen huomioon taloudelliset ja sosiaaliset tekijät. Tässä optimointiprosessissa käytetään yksilön annosrajaa (varmuudella altistuminen) tai riskirajaa (potentiaalinen altistus) pienempiä annos- tai riskirajoituksia (dose or risk constraint) reunaehtoina rajoittamaan taloudellisista ja sosiaalisista arvostuksista johtuvaa epätasa-arvoa (optimointiperiaate),
- 3) kaikista praktiikoista yhteensä saatava säteilyannos ei saa ylittää annosrajaa ja potentiaalisten altistusten suhteen riskitasoa tulee valvoa. Näillä toimenpiteillä pyritään siihen ettei kenenkään yksilön altistuminen säteilyriskeille muodostu kohtuuttomaksi kyseisistä praktiikoista missään normaaliksi katsottavassa tilanteessa. Koska kaikkiin lähteisiin ei voi vaikuttaa toimenpitein on tärkeä määritellä etukäteen mitkä lähteet annosraja kattaa (yksilönsuoja-periaate).



ICRP:n säteilysuojelufilosofian periaattellinen rakenne.

## Suomalaisten keskimääräinen säteilyannos vuodessa on noin 6 mSv



Silloin kun säteilysuojeluperiaatteita sovelletaan interventiotilanteeseen suositellaan, että

- 1) vastatoimenpiteen tulee saada aikaan enemmän hyvää kuin haittaa, mikä tarkoittaa sitä, että annoksen pienentämisestä seuraavan säteilyhaitan pienemisen täytyy olla suurempi kuin vastatoimenpiteestä aiheutuva haitta mukaanlukien sen taloudelliset ja sosiaaliset kustannukset (oikeutusperiaate),
- 2) vastatoimenpiteen toteutus, laajuus ja kesto tulee optimoida siten, että annoksen pienentämisestä saatava nettohyöty maksimoidaan eli säteilyhaitan pienemisen ja vastatoimenpiteen oman haitan erotus maksimoidaan (optimointiperiaate).

Interventiotilanteessa ei sovelleta annosrajoja, mutta tasolla, jolla yksilöannokset lähestyvät determinististen vaikutusten kynnystä (suuruusluokkaa 0,5 Sv) jonkinlainen interventio tulee miltei aina oikeutetuksi.

### Säteilysuojeluperiaatteiden soveltaminen

#### Praktiikka normaalitilanteessa

Altistustilanteet voidaan jakaa ammatilliseen altistukseen, diagnoosin tai hoidon yhteydessä potilaan altistukseen ja väestön altistukseen.

**Ammattialtistus.** Tavanomainen määritelmä (mm. Kansainvälisen työjärjestön käyttämä), jonka mukaan työssä saatu säteilyannos on ammatillaltistusta, on johtanut säteilyn suhteen vaikeuksiin, koska säteilyä on kaikkialla. Tällöin

kaikki työntekijät tulisivat säteilysuojelun piiriin, mikä tietysti on mahdotonta käytännössä. ICRP rajoittaakin käsitteen ammatillaltistus koskemaan vain sitä osaa työperäistä altistusta, jonka voidaan katsoa tulevan tilanteista, joista työnantaja on vastuussa. Niinpä kehon kalium-40, kosminen säteily maanpinnan tasolla, tai maaperän radioaktiivisten aineiden lähettämä säteily eivät sisälly ammatillaltistukseen. Työnantajan velvollisuus voi kuitenkin olla pienentää altistusta epätavallisen korkeille radonpitoisuuksille joillakin työpaikoilla (kaivokset, louhintatyömaat) tai altistusta luonnossa esiintyvien radionuklidien lähettämälle säteilylle kun mineraalivarjoja prosessoidaan (fosfaattilannoitteiden valmistus). Suihkukoneiden ja avaruusalusten henkilökunta katsotaan olevan ammatillisesti altistettuja säteilylle.

Taulukko 1. Annosrajat mSv:nä vuotta kohti.

	ammattialtistus	väestö
Efektiivinen annos	20	1
Ekvivalenttiannos		
silmän linssi	150	15
iho	500	50
kätet ja jalat	500	

*Rajoja sovellettaessa lasketaan yhteen ulkoinen annos ja sisäisen säteilyn aiheuttama annositouma (50 v). Ammatillaltistuksessa annosraja on viiden vuoden keskimääräinen annos, eikä se saa minään vuonna ylittää 50 mSv. Väestön annos voi jonakin vuonna olla korkeampi kunhan se ei 5 vuoden keskiarvona ylitä 1 mSv.*

Altistuminen keinotekoisien radionuklidien tai laitteiden tuottamalle säteilylle työpaikalla käsitellään aina ammatillaltistuksena.

Eräs oleellinen piirre v. 1991 suosituksissa on annosrajoitusten valinta rajoittamaan optimoinnin avulla valittavia suojeluvaihtoehtoja. Annosrajoitus on lähdesidonnainen, yksilöannoksena ilmaistu annosarvo, joka esim. kokemukseräisesti tiedetään saavutettavan määrätyn tyyppisessä, hyvin hoidetussa toiminnassa. Annosrajoitus on pienempi tai enintään yhtä suuri kuin annosraja.

Miesten ja naisten annosraja on sama ja vasta raskauden toteamisen jälkeen rajoitetaan nimenomaan sikiön tähden äidin annosta lisätoimenpitein. Taulukossa 1 on ICRP:n suosittelemat annosrajat. Nämä rajat eivät koske mm. kaivostyöntekijöiden radonaltistusta, josta on erilliset suositukset (ICRP 47) voimassa kunnes se uusitaan. Muutakin radonaltistusta työpaikoilla koskevia yksityiskohtaisia suosituksia valmistellaan parhaillaan koska yleisperiaatteiden soveltaminen luonnonsäteilyyn ja erityisesti radoniin ei ole kovin suoraviivaista.

**Potilasaltistuksen** suhteen suositellaan noudatettavaksi sekä oikeutus- että optimointiperiaatteita. Useissa maissa on todettu, että potilasannoksia voitaisiin alentaa tuntuvastikin käyttämällä apuna optimointitekniikkaa. Tästä aiheesta suunnitellaan ICRP:n piirissä parhaillaan erillisiä suosituksia. Potilasannoksiin ei sovelleta annosrajoja.

**Väestön altistus.** Ydinvoimalaitosten tai muiden suurten säteilylähteiden normaali toiminnan päästöt ovat tyyppillinen esimerkki tilanteesta, johon sovelletaan läh-



teen valvontaa asettamalla sille vaatimuksia. Päästöjen oikeutus on osa koko voimallisuuden oikeutusta, joka on hyvinkin laaja yhteiskunnallinen kysymys. Optimointi annosrajoituksineen on tärkeä prosessi päästötapaa ja niiden määrää määritettäessä. Hyväksyttävää päästö määrää laskettaessa annosrajoitusta sovelletaan nk. kriittiseen ryhmään ympäristössä. Kriittinen ryhmä muodostuu henkilöistä, jotka saavat korkeimman säteilyannoksen kyseisestä lähteestä. Laskelmissa käytetään kriittisen ryhmän annosten keskiarvoa.

#### Potentiaalinen säteilyaltistus

Potentiaaliset säteilyaltistukset muodostavat osan praktiikan säteilysuojelusta koska niiden huomioon ottamisella pyritään ennakkolta minimoimaan onnettomuuksien esiintymistodennäköisyyttä. Jos onnettomuus kuitenkin tapahtuu voidaan joutua interventiotilanteeseen.

Onnettomuuksia on luonnollisesti aina pyritty ehkäisemään hyvällä suunnittelulla, rakentamisella ja säteilylähteen käytöllä. ICRP on v. 1991 suosituksissa nyt kuitenkin pyrkinyt formalisoimaan potentiaaliset altistukset saman suojelujärjestelmän puitteisiin kuin varmuudella saatavat annoksetkin, eli ottamaan potentiaaliset altistukset huomioon toiminnan oikeutusta arvioitaessa, suojelun optimoinnissa ja käyttämällä riskirajoja yksilön suojan turvaamisessa.

Tämä on käytännössä varsin vaikea tehtävä erityisesti monimutkaisten laitojen kuten ydinvoimalaitosten osalta. Periaatteiden soveltamista erityisesti ydinlaitoksiin pohditaankin edelleen säteilysuojelu- ja ydinturvallisuusasiainneuvoston yhteisessä työryhmässä. Tässä työssä tuskin tullaan suosittamaan mitään numeroarvoa kokonaisriskirajalle vaan päädyttäneen asettamaan riskirajoituksia eri tapahtumaketjuille (sequence of events).

Potentiaaliset altistukset koskevat samoja ryhmiä — työntekijät, potilaat, väestö — kuin edellä varmuudella saatavien annosten yhteydessä esitettiin.

#### Interventiotilanne

Interventiotilanne voi myös koskea kaikkia edellä mainittuja ryhmiä, mutta tarkastellaan lähinnä tilannetta väestön ja työntekijöiden osalta kahden esimerkin, asuntojen radonin ja suuronnettomuuden jälkitilanteen valossa. Intervention oikeutusta arvioitaessa säteilysuojelun kannalta on oleellista arvioida miten paljon vastatoimenpiteellä voidaan alentaa sen väestönosan säteilyannosta, jonka riski on suurin. On kuitenkin huomattava, että toimenpiteet usein vaikuttavat myös yhteiskuntaan kokonaisuudessaan ja lopulliseen päätöksentekoon tulee mukaan paljon muitakin kuin säteilysuojelullisia tekijöitä. Säteilysuojeluun liittyvissä päätöksissä on toistaiseksi käytetty varsin vähän muilta aloilta tunnettuja päätösanalyysitekniikoita apuna. Silloin kun päätökseen

vaikuttavat hyvin monet muut kuin säteilyn vaarallisuustekijät tulisi ne saada eksplisiittisesti esille jottei väestölle anneta väärin kuvaa suuntaan tai toiseen säteilyn merkityksestä terveystieteiden.

Asuntojen radon on varsin ongelmallinen koska sen aiheuttamat yksilö- ja kollektiiviset annokset ovat suurempia kuin mistään muusta lähteestä saatu altistus. Useissa maissa kuten Suomessakin radonin aiheuttamat annokset ovat oleellisesti korkeampia kuin mitä sallittaisiin ammattialtistuksessa. Kun annoksia halutaan alentaa on se mahdollista tekemällä muutoksia asuntoihin tai puuttamalla asukkaiden elämään. Päätöstä tehtäessä ovat intervention oikeutus ja valittavan toimenpiteen optimointi oleellisia tekijöitä. Optimoinnin tai kokemuksen perusteella voidaan ainakin kansallisesti asettaa yksittäisten päätösten helpottamiseksi toimenpidetasoja. Näillä ei ole mitään tekemistä annosrajojen kanssa.

Onnettomuuksien varalle ennakkosuunnittelu on olennaista siten, että eri suuruisille onnettomuuksille ja erilaisille ympäristöolosuhteille on oikeutus- ja optimointiperiaatteita noudattaen etsitty ainakin nopeasti tarvittavia toimenpiteitä varten toimenpidetasot, jotka kirjataan valmiussuunnitelmiin. Ennalta kaikkia tilanteita varten määrätyn joustamattoman toimenpidetason käyttö johtaisi melkoisella varmuudella ristiriitaan oikeutusperiaatteen kanssa ja tuottaisi enemmän haittaa kuin hyvää, mikä ei voi olla säteilysuojelun tarkoitus.

Useissa tapauksissa tulee työntekijöiden altistusta käsitellä samalla tavalla kuin praktiikan yhteydessä, vaikka väestön altistusta pienennettäisiin intervention avulla. Esimerkkejä tästä ovat radon kaivoksissa tai louhintatyömailla, joissa työpaikkaa ja työntekijöitä voidaan valvoa vastaavalla tavalla kuin praktiikassa. Samoin on tilanne onnettomuuden yhteydessä valmiushenkilöstön, palomiesten, poliisin, sairaanhoitohenkilöstön tai puhdistushenkilöstön osalta. Näissä tapauksissa työn oikealla suunnittelulla ja toteuttamisella voidaan altistukseen vaikuttaa hyvin samantapaisesti kuin praktiikassakin.

On kuitenkin eräitä työntekijäryhmiä ja tilanteita, joissa ainoa mahdollisuus rajoittaa altistusta on interventio. Esimerkkejä näistä ovat radonongelma tavallisissa toimistoissa tai maanviljelijä työssään onnettomuuden saastuttamalla alueella.

Uusittavana olevat ICRP:n suositukset radonista ja onnettomuussuunnittelusta tulevat käsittelemään näitä kysymyksiä.

#### Suomen säteilysuojelusäädökset ja valvonta

Uusi säteilylaki, joka tulee voimaan v. 1992 alusta, noudattaa ICRP:n suositusten linjaa, käsittäen oikeutuksen, optimoinnin ja yksilönsuojan periaatteet. Se kattaa sekä jonisoivan että jonisoimattoman säteilyn käytön ja aikaisemmasta poiketen myös muut toiminnot, joista ai-

heutuu tai saattaa aiheutua ihmisten terveyden kannalta haitallista altistumista säteilylle. Jälkimmäisistä mainitaan laissa erikseen luonnonsäteily ja normaalista poikkeavat säteilytilanteet. Myös potilasturvallisuus on lakiin sisällytetty otsikolla säteilyn lääketieteellinen käyttö.

Vaikka ydinenergian käytöstä on säädetty erikseen sovelletaan säteilylain mukaan myös ydinenergian käyttöön säteilylaissa säädettyjä ja yllä mainittuja kolmea peruseräistä sekä säteilytyötä koskevia vaatimuksia.

Asetuksella tullaan säätämään yksityiskohtaisemmin säteilysuojelun toteuttamisesta ja annosrajoista sekä muista enimmäisarvoista. Valtioneuvoston päätöksillä on jo ydinenergiain nojalla säädetty ydinvoimaloiden päästöjä koskeva raja-arvoksi 0,1 mSv vuodessa ja loppusijoitettujen jätteiden odotusarvon ylärajaksi myös 0,1 mSv vuodessa. Nämä arvot vastaavat ICRP:n suosituksissa tarkoitettua annosrajoitusta.

Säteilysuojelun käytännön työkenttä jakaantuu useisiin osa-alueisiin. Praktiikkojen osalta säteilyn käyttötavan, laitteiden ja tilojen turvallisuus arvioidaan turvallisuuslupia myönnettäessä sekä käyttöpaikalla tehtävissä tarkastuksissa. Kulutusavarat ja eräät muut säteilylaitteet tarkastetaan tyyppinä ennen myyntiä ja käyttöön ottoa.

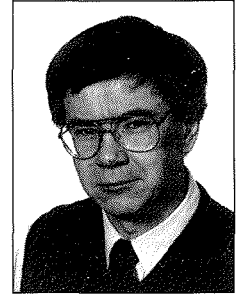
Työntekijöiden altistuksia seurataan ja esim. v. 1990 keskimääräiset vuosiansiokset olivat lääkinnässä 0,2 mSv, teollisuudessa 0,1 mSv, tutkimuksessa 0,2 mSv, eläinlääkinnässä 0,3 mSv, ydinvoimateollisuudessa 2,6 mSv ja metrotyöntekijöillä alle 2 mSv (radonista).

Interventiotilanteista asuntojen huoneilman radon on epäilemättä suurin ongelma-alue. Myös talousveden sisältämät luonnon radioaktiiviset aineet aiheuttavat paikoin suuria säteilyannoksia. Suomessa asuntojen huoneilman keskimääräinen radonpitoisuus 100 Bq kuutiometrissä joka vastaa n. 5 mSv vuosiansiosta, huippuarvot voivat olla jopa 100 kertaa suurempia.

Toinen tyyppinen interventiotilanne on Tshernobylin onnettomuuden aiheuttama ympäristön saastuminen. Siitä saatu keskimääräinen annos oli v 1990 enää 0,05 mSv. Vastatoimenpiteistä oli enää voimassa lievä petokalojen kulutusta rajoittava suositus korkeimman laskeuman alueilla.

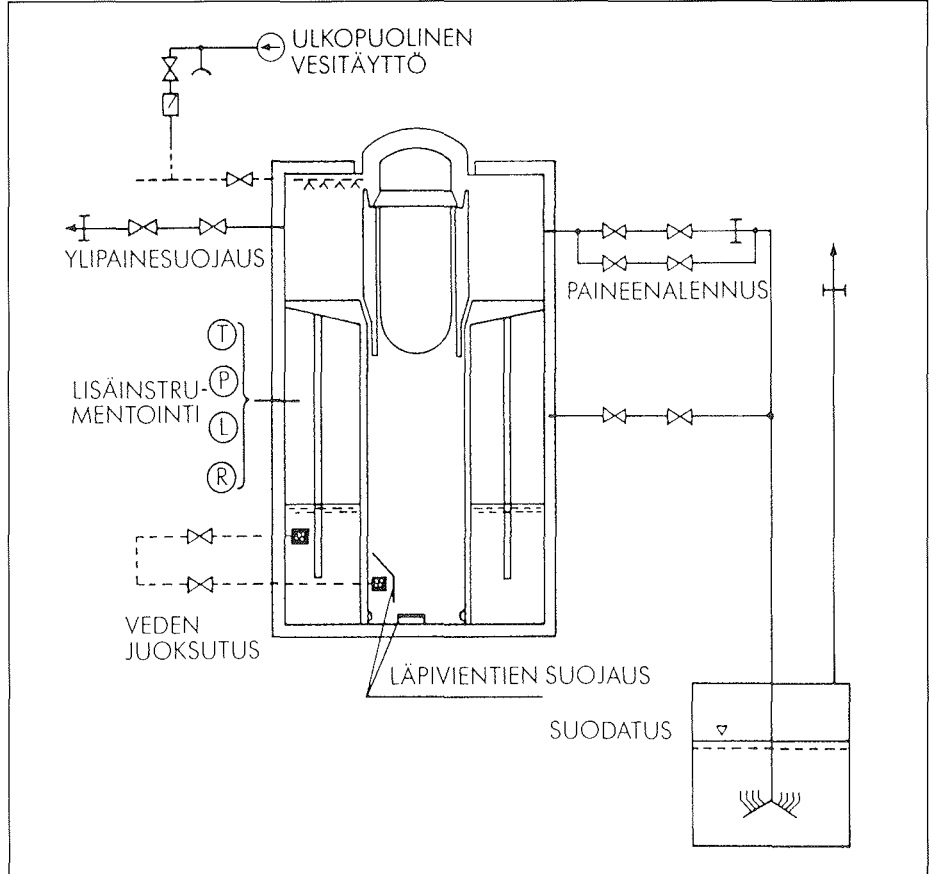
Koulutus ja tiedotus ovat tärkeitä välineitä säteilysuojelussa erityisesti siksi, että säteily vetoaa voimakkaasti ihmisten tunteisiin aiheuttaen voimakkaita pelkoja ja levottomuutta, jotka eivät ole verrannollisia altistuksen suuruuteen. □

FL Anneli Salo toimi säteilyturvakeskuksen valvontaosaston päällikkönä vuoteen 1991, jolloin jäi eläkkeelle. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1976 ja oli Seuran johtokunnassa vuosina 1978-1980. Puh. 90-746702.



# Ydinvoimalaitosten turvallisuus

*Ydinvoimalaitoksen turvallisuus edellyttää, että laitoksen käytön seurauksena syntyvien radioaktiivisten aineiden pääsy ympäristöön estetään. Onnettomuuksien syntymistä ehkäistään käyttämällä koeteltua tai muuten perusteellisesti tutkittua, korkealaatuista tekniikkaa suunnittelussa, rakentamisessa ja käyttötoiminnassa. Häiriö- ja vauriutilanteet havaitaan ja hallitaan erilaisin teknisin järjestelmin ja hyvin koulutettujen laitosoperaattoreiden toimin. Onnettomuuksien seurauksien lieventämiseen varaudutaan teknisin turvajärjestelmin sekä pelastuspalvelujärjestelyin. Laitoksilla toteutetaan jatkuvasti käyttökokemusten ja teknisen kehityksen perusteella järkeviä turvallisuutta lisääviä parannuksia.*



*Olkiluodon laitoksilla on toteutettu laaja turvajärjestelmien täydennysohjelma estämään vakavien reaktorionnettomuuksien syntymistä sekä lieventämään mahdollisten onnettomuuksien seurauksia. Laitoksille on asennettu suojarakennuksen ylipainesuojajärjestelmä, suodatettu paineenalennusjärjestelmä ja vesitäyttöjärjestelmä. Lisäksi on suojattu suojarakennuksen alaosan läpivientejä, asennettu uusia mittausjärjestelmiä ja täydennetty operaattoreiden hätätilanneohjeita.*

Ydinvoimalaitoksen turvallisuusriski aiheutuu perimmänsä siitä, että energiaa tuottavissa ydinpoltoaineen halkeamisreaktioissa muodostuu radioaktiivisia aineita, fissiotuotteita, joista jotkut säilyvät säteilyvaarallisina hyvinkin pitkään. Olennaisimpia näistä ovat jodi ja kesium, joiden säteilyvaaran kannalta tärkeimpien isotooppien puoliintumisajat vaihtelevat runsaasta viikosta noin 30 vuoteen. Toinen olennainen tekijä on, että ydinreaktori tuottaa lämpöä pitkään vielä varsinaisten halkeamisreaktioiden päätyttyäkin: kahden tunnin kuluttua jälkilämpö on n. 2 % edeltäneestä reaktorin tehosta ja vuorokauden kuluttua n. 0,5 %. Jälkilämpö on saatava poistettua reaktorisydäimestä ja edelleen reaktorin jäähdytyspiireistä, jotta ydinpoltoaine ja reaktorin rakenteet eivät ylikuumentuisi ja sen seurauksena vaurioituisi niin, että fissiotuotteet pääsevät karkaamaan ydinpoltoaineesta ja edelleen reaktoripiiristä.

## Riski kuriin ennalta ehkäisemällä ja seurauksia lieventämällä

Turvallisuutta uhkaavien tilanteiden syntymistodennäköisyys pidetään pienenä

vaatimalla korkeaa laatua toiminnan kaikissa vaiheissa — niin teknisissä ratkaisuissa kuin myös inhimillisissä toiminnoissa. Samaa lopputulosta edistetään varautumalla etukäteen mitä erilaisimpiin häiriö- ja onnettomuustilanteisiin. Tämä tapahtuu mm. simuloimalla niitä tietokoneille, antamalla käyttöhenkilöstölle simulaattorikoulutusta ja laatimalla ohjeita tilanteiden hallintaan.

Häiriö- ja vauriutilanteiden kehittyminen varsinaisiksi onnettomuuksiksi estetään moninkertaisesti varmistetuilla valvonta- ja suojausjärjestelmin. Laitoksen tilaa seurataan monipuolisilla mittauksilla ja poikkeamista saadaan eriaikaisia varoituksia ja hälytyksiä. Suojausjärjestelmät toteutavat tarvittaessa automaattisesti korjauksia ja turvaavia toimenpiteitä, kuten reaktorin tehon laskeminen tai täydellinen pysäyttäminen ja vara- tai hätäjäähdytysjärjestelmien käynnistäminen.

Kaikesta huolimatta on varauduttava siihen, että joskus voi esiintyä teknisiä vikoja tai virhetoimintoja, joiden seurauksena syntyy vaurioita reaktoriin. Jotta näistäkään, hyvin harvinaisista tilanteista ei aiheutuisi vaaraa laitoksen ympäristölle, radioaktiivisten aineiden karkaaminen estetään useiden peräkkäisten suojausjärjestelmien avulla. Vasta näiden kaikkien pettäminen johtaa ympäristöonnettomuuteen. Ensimmäinen este on itse ydinpoltoaine, uraanidioksidi, joka keraamisena aineena pidättää valtaosan radioaktiivisista aineista sisällään hyvin korkeisiin lämpötiloihin asti. Uraanidioksidinapit on suljettu tiiviiden metallisten putkien sisään ja koko reaktorisydän on teräksisen, erityisen huolellisesti kunnoltaan valvotun reaktorin jäähdytysjärjestelmän sisällä. Kaiken varalle reaktorilaitoksen ympärille rakennetaan vielä erityinen suojarakenus, joka kestää mitä erilaisimpia reaktorin onnettomuustilanteista ja myös ulkoi-

sista tekijöistä aiheutuvia kuormituksia. Viimeisimpänä lenkinä seurausten lieventämisketjussa ydinvoimalaitoksen ympäristölle laaditaan pelastuspalvelusuunnitelma. Mahdollisia pelastuspalvelutoimenpiteitä ovat tilanteen vakavuudesta riippuen mm. asukkaiden suojautuminen joksikin aikaa rakennuksien sisälle, väestön siirto, joditablettien syönti ja käyttörajoitukset elintarvikkeille.

## Oppia Harrisburgin ja Tshernobylin onnettomuuksista

Three Mile Islandin (TMI) painevesireaktorilla Harrisburgin kaupungin lähellä USA:ssa v. 1979 ja Tshernobylin grafiittihidasteisella reaktorilla Ukrainassa v. 1986 tapahtuneet onnettomuudet ovat ainoat vakavat kaupallisilla ydinvoimalaitoksilla tapahtuneet reaktorionnettomuudet.

TMI-laitos oli toteutettu edellä kuvatun turvallisuusfilosofian mukaisesti. Onnettomuuden seurauksena laitos tuhoutui käyttökelvottomaksi, mutta havaittavia ympäristövaikutuksia ei aiheutunut. Onnettomuuden syyt ja tapahtumien kulku on selvitetty hyvin perusteellisesti. Onnettomuuden syntyyn ja kehittymiseen vaikutti suuri määrä sekä teknisiä että inhimillisiä tekijöitä: huoltotoimien jälkeen oli venttiileitä jäänyt väärään asentoon, varoventtiili ei sulkeutunut toimittuaan, mittausjärjestelmät antoivat riittämättömän ja osittain harhaanjohtavan kuvan laitoksen todellisesta tilasta, laitosoperaattoreilla oli puutteellinen koulutus ja hätätilanteiden toimintaohjeet jne. Yleisesti havahduttiin huomaamaan, että laitosten suunnittelussa ja käyttötoiminnossa on kiinnitettävä lisää huomiota laitosten selviytymiseen mitä erilaisimmista, mutkikkaita ja hyvin epätodennäköisistäkin häiriötilanteista. Koska TMI-laitos on kevytvesireaktorina perusratkaisuultaan hyvin samantapainen kuin valtaosa maailman ydinvoimalaitoksista, saatu opi on johtanut huomattaviin turvallisuusparannuksiin ja tutkimuksen uudelleen suuntaamiseen kaikkialla maailmassa, myös Suomessa.

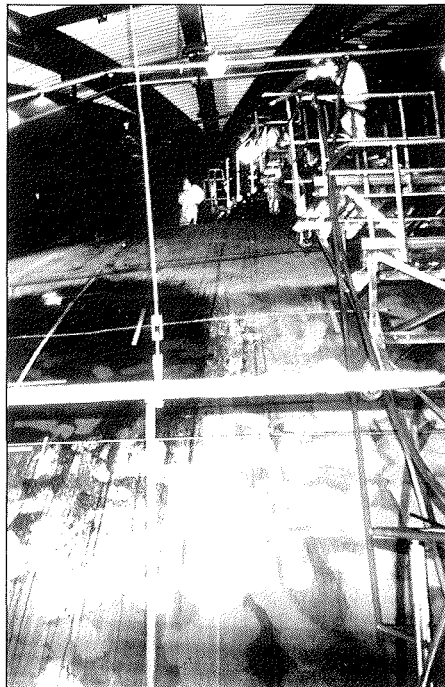
Tshernobylin onnettomuus osoitti hallitsemattoman ydinvoimalaitosonnettomuuden ympäristövaikutukset niin pahoiksi, että sellaisen toistumisen estämiseksi on tehtävä kaikki käytännölliset turvallisuutta parantavat toimenpiteet. Tshernobyl -tyyppisiä reaktoreita on vain Neuvostoliitossa ja ne eroavat tekniikaltaan niin paljon muista laitostyypeistä, että suoria vihjeitä muuntotyypisten laitosten parantamiseksi saatiin melko vähän. Suomessa jo TMI -kokemusten perusteella käynnistettyä Loviisan ja Olkiluodon laitosten parannusohjelmia nopeutettiin ja laajennettiin. Vakavien reaktorionnettomuuksien ehkäisemisen ja seurausten rajoittamisen vaatimustasoa kiristettiin joka suhteessa entisestään.

Tshernobylin onnettomuuden syiden ja tapahtumien kulun yksityiskohtainen sel-

vittäminen on vielä kesken. On selvää, että tässäkin tapauksessa tärkeitä olivat sekä tekniset että inhimilliset tekijät. Onnettomuuden vakavuuteen vaikutti olennaisesti tämän reaktorityypin selvä suunnitteluvirhe: reaktorin tehon nousu ei rajoittunut itsestään fysikaalisten perusilmiöiden takaisinkytkennän vaikutuksesta, vaan päinvastoin kasvoi räjähdysmäisesti alkuun päästyään. Laitoksen operaattoreilla oli hyvin puutteellinen koulutus, ohjeistot ja reaktorin tuntemus. On ilmeistä, että annetuista ohjeista ja määräyksistä poikettiin myös aivan tarkoituksellisesti. Kaiken kaikkiaan laitoksen turvallisuuskulttuuri ei ollut lainkaan kelvollisella tasolla. Muiden käytössä olevien Tshernobyl -tyyppisten laitosten käyttöä on jatkettu, myös Tshernobylin kolmen muun yksikön, mutta niillä on toteutettu ja toteutetaan huomattavia teknisiä ja käyttötoiminnan parannuksia. Useimpia rakenteilla olleita laitoksia ei tehtäne valmiiksi.

## Vanhimpien laitosten turvallisuus tämän hetken avainasioita

Ydinvoimalaitosten turvallisuuden vaatimustaso on koko ajan noussut. Tämä on ollut mahdollista mm. jatkuvan teknisen kehityksen ja saadun kokemuksen myötä ja sitä on tarvittu laitosten kasvavan lukumäärän ja suurenevan yksikkökoon vastapainoksi. Aivan vanhimmat laitokset ovat niin pieniä, että monia niistä ei ole ollut taloudellisesti järkevää modernisoida, vaan niitä on poistettu käytöstä.



Loviisan laitoksilla on olennaisesti monipuolisempia turvajärjestelmät kuin vanhimman sukupolven VVER -laitoksilla Neuvostoliitossa ja entisen Itä-Euroopan maissa. Kuvassa on järjestelmä, jolla varaudutaan ns. vakavien reaktorionnettomuuksien hallintaan. Meneillään on Loviisa 1 -laitosyksikön suojarakennuksen ulkopuolisen ruiskutusjärjestelmän koeruiskutus vuosihuollossa 1991.

Nykymittapuun mukaan täysikokoisia laitoksia alkaa tulla runsaslukuisesti alkupe-raisten vaatimusten mukaisesti täysin palvelleiksi, 30-40 vuotiaiksi, heti 2000-luvun alussa ja hyvin laajasti v. 2010 tienoilla, jolloin asia ajankohtaistuu myös suomalaisille laitoksille. Kun uusien suurvoimalaitoshankkeiden valmistelu kestää luokkaa 10 vuotta ja uusien hankkeiden toteutus kohtaa usein julkista vastustusta, nykyisten ydinvoimalaitosten käyttöiän pidentäminen on jo nyt keskeinen tutkimuksen ja käytännön menettelytapojen kehittelyn kohde.

Näyttää siltä, että lähes kaikki ydinvoimalaitoksen osat voidaan tarvittaessa kannattavasti vaihtaa. Erityistä huomiota edellyttää reaktoritankki, johon kohdistuva säteily aiheuttaa teräksen haurautta. Reaktoritankin turvallisen käyttöiän määrittäminen on tällä hetkellä myös Loviisan laitoksen kannalta ajankohtainen asia. Loviisassa on jo toteutettu tai selvittelyvaiheessa käyttöikää pidentäviä teknisiä ja toimintatapamuutoksia ja tankin materiaaliominaisuuksien ja kuormitusten tuntemuksen tarkkuutta parannetaan jatkuvasti. Useilla VVER-laitoksilla on toteutettu reaktoritankin toivutushehkutus, joka näyttää merkittävästi palauttavan materiaalin sitkeysominaisuuksia. Tankin vaihtamismahdollisuuskään ei ehkä ole pois suljettu!

Erittäin laajakantoisen ja vaikean ongelman muodostavat vanhimman sukupolven VVER -tyyppiset laitokset Neuvostoliitossa ja entisen Itä-Euroopan maissa. Laitokset eivät turvajärjestelmiltään vastaa alkuunkaan nykyistä vaatimustasoa ja niiden valmistuksen ja käyttötoiminnan laadussa on joissain tapauksissa todettu pahoja heikkouksia. Toisaalta näissä maissa vallitsee jo nykyisellään erittäin tukala sähköpula ja varoja uuden voimalaitoskapasiteetin rakentamiseen ei ole nopeasti saatavissa. Entisen Itä-Saksan osalta ratkaisu on tehty: kaikki VVER -laitokset poistettiin käytöstä. Muiden maiden osalta tehdään parhaillaan mm. kansainvälisten järjestöjen tuella selvityksiä tarpeellisista ja mahdollisista parantamisstrategioista. Näissä selvityksissä on suomalaisia ollut runsaasti mukana, koska meillä on Loviisan myötä ainutlaatuis-ta kokemusta VVER -tyyppisen laitoksen saattamisesta tiukat vaatimukset täyttäväksi.

## 2000-luvulle uusia teknisiä ratkaisuja?

Kevytvesireaktoreilla on hallitseva asema ydinvoiman tuotannossa n. 80 % osuudellaan. Turvallisuuden ja käyttöominaisuuksien parannuksia on saatu aikaan lähinnä lisäämällä ja monipuolistamalla erilaisia teknisiä järjestelmiä. Tämän kehityksen tuloksena laitokset alkavat olla varsin mutkikkaita. Taloudellisuutta on parannettu mm. kasvattamalla laitosten yksikkökokoja, joka on nyt tyyppillisesti

## Passiiviset turvajärjestelmät

Tilanmuutokseen perustuvat

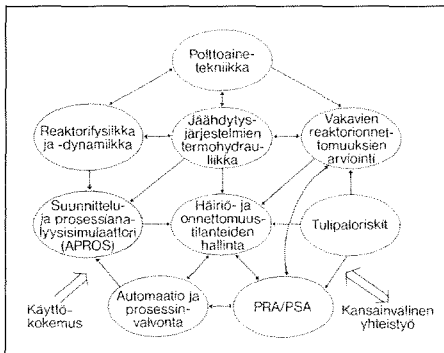
Staattiset

**Luontaiset turvallisuusominaisuudet**

Valvonta- ja tukijärjestelmiä

**Aktiiviset turvajärjestelmät**

Ydinvoimalaitosten yksinkertaistamiseksi selvitetään mahdollisuuksia hyödyntää entistä laajemmin ns. luontaisia turvallisuusominaisuuksia ja passiivisia turvajärjestelmiä. Luontaiset turvallisuuspiirteet perustuvat suoraan rakenteellisiin ja prosessitekniisiin perusratkaisuihin. Ne ovat aina olemassa ja antavat ylimääräistä turvallisuusvaraa poikkeustilanteissa. Esimerkkejä ovat reaktorin tehonnousun negatiivinen takaisinkytkentä, suuret vesivarastot jälkilämmön sitomiseen ja materiaalit, jotka kestävät korkeimmatkin onnettomuustilanteissa esiintyvät lämpötilat. Passiiviset turvajärjestelmät toimivat ilman ulkoista energiaa ja kytkentätapahtumia. Ne voivat olla luonteeltaan staattisia, kuten suojarakennus ja lämmönsiirto luonnonkierrolla, tai tilanmuutokseen perustuvia, kuten paineakut, hätäjähdytysveden syöttö painovoimaisesti ja säätösauvojen liike painovoiman vaikutuksesta. Käytännössä tarvitaan kuitenkin aina myös pumppuja, moottoriventtiileitä ja muita aktiivisia osia sisältäviä järjestelmiä. Ne mm. antavat operaattoreille mahdollisuuksia saattaa laitos nopeasti turvallisempaan tilaan ja useissa tapauksissa luontaisten turvallisuusominaisuuksien ja passiivisten turvajärjestelmien toiminta-aika tai -alue on rajallinen.



1200-1400 megawattia, siis lähes kaksinkertainen Olkiluodon laitoksiin verrattuna. Näin ei voitane jatkaa ikuisesti ja jätetikokoisten laitosten kokonaiskustannukset alkavat olla rahoituksellinen ongelma useimmille voimayhtiöille. Lähinnä USA:ssa onkin käynnissä huomattava kehitystyö, joka tähtää keskikokoisiin (luokkaa 600 megawattia) nykyistä olennaisesti yksinkertaisempiin kevytvesireaktoreihin.

Rakenteellisiin ja käytön yksinkertaistukseen pyritään hyödyntämällä entistä laajemmin suunnitteluratkaisuihin saavutettavissa olevia voimalaitosprosessin luontaisia turvallisuusominaisuuksia sekä passiivisia turvajärjestelmiä, jotka toimivat ilman ulkoista energiaa tai kytkentätapahtumia. Tavoitteena on vähentää pumppujen ja venttiilien sekä niiden ohjauslaitteistojen, putkistojen, kaapelien, erilaisten apujärjestelmien jne. määrää luokkaa 30-60 %. Samalla lisätään laitoksen tur-

vallisuuden pelivaroja ja siten laite- ja käyttövirheiden sietokykyä, mikä vähentää onnettomuustilanteiden syntymismahdollisuutta.

Varteenotettava lisänäkökohta on, että yksinkertaisemman laitoksen turvallisuus voi olla helpompi havainnollistaa ja osoittaa suurelle yleisölle. Olennaista on toisaalta hyödyntää niin paljon kuin mahdollista nykyisten kevytvesireaktori-laitosten rakentamisessa ja käytössä saatua kokemusta. Tällä vähennetään uuden teknologian käytöstä aina aiheutuvia lastentauteja ja minimoidaan tarve kalliisiin ja aikaavieviin suuren mittakaavan demonstraatiovaiheisiin.

Panostus radikaalimmin nykyisestä poikkeaviin reaktorityyppisiin, kuten kaasujäähdytteiset korkealämpötilareaktorit ja nestemetallijäähdytteiset hyötöreaktorit, on tällä hetkellä melko suppeaa. Tällaiset laitokset näyttävät tarjoavan hyviä tur-

vallisuusominaisuuksia ja suuriakin etuja uraanin käytön tehokkuudessa, mutta kehittämisennohostusta rajoittavat mm. pitkä matka kaupalliseen tuotteeseen ja tarve uudentyyppiseen polttoainekiertoon.

## Huomiota myös ulkoisiin riskitekijöihin

Edellä on käsitelty lähinnä laitoksen sisäisistä teknisistä vioista ja inhimillisistä virheistä aiheutuvia turvallisuusriskejä. Niiden lisäksi kokonaisriskissä on otettava huomioon ulkoiset syyt, kuten rajut luonnonilmiöt, lentokonetörmäykset ja lähistön teollisuuslaitosten ja vaarallisten aineiden kuljetusten suuronnettomuuksien vaikutukset. Unohtaa ei pidä myöskään tahallista vahingontekoa tai sodankaan mahdollisuutta. Useimmat suojarakennukset ovat jo nykyisellään melkoisia bunkkereita ja siten tehokkaita suojaa myös ulkoisia uhkia vastaan. Jo ydinenergian käytön alusta asti reaktoreita on sijoitettu myös kalliioiluoliin ja luolasijoituksen toteutettavuusselvityksiä näkyy aika ajoin. Välimuotona eräät radikaalisti uudentyyppiset reaktorityypit suunnitellaan sijoitettavaksi maakuoppiin, millä haetaan erityisesti parempaa suojaa maanjäristyksien vaikutuksilta.

”Kaikenkestävät” suojarakennukset voisivat myös laajentaa hyväksyttävissä olevien sijoituspaikkojen valikoimaa. Voimme arvata, että tällaiset uudet suojarakennusvaihtoehdot tulevat tarkasteltaviksi, jos ydinvoimalaitosten rakentaminen lähtee uudelleen voimakkaaseen kasvuun.

## Järjestelmällisellä turvallisuustyöllä hyvään lopputulokseen

Kun ydinvoimalaitokset suunnitellaan ja rakennetaan parhainta asiantuntemusta käyttäen ja korkealaatuisesti ja niiden käyttö toteutetaan vastuullisesti ja kokemuksesta jatkuvasti oppia ottaen, ydinenergian käytöstä aiheutuva riski on vähäinen verrattuna yhteiskunnan muista toiminnoista ja luonnon tapahtumista aiheutuvaan kokonaisriskiin. □

Professori Lasse Mattila on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion johtaja. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1974 ja oli Seuran johtokunnassa vuosina 1980-1982 sekä ATS Ydintekniikan päätoimittajana vuosina 1976-1979 ja erikoistoimittajana vuosina 1980-1983. Puh. 90-4565001.

# Ydinjätehuollon turvallisuus ja kustannukset



*TVO on tehnyt vuodesta 1987 lähtien kalliitutkimuksia Olkiluodossa, Konginkankaalla, Sievissä, Hyrynsalmella ja Kuhmossa. Kaikilla paikoilla on tehty mm. kalliönäyttekairaus ja useita erilaisia geofysikaalisia mittauksia.*

Ydinjätteet ovat radioaktiivisia jätteitä, joita syntyy ydinvoiman tuottamisessa, ydinpolttoaineen valmistuksen eri vaiheissa sekä itse voimalaitoksen käytössä. Polttoaineen valmistamisessa kertyvien jätteiden radioaktiiviset aineet ovat peräisin luonnosta. Tällaisia ovat esimerkiksi malminlouhintajätteet. Ydinreaktorissa syntyy keinotekoisia radioaktiivisia aineita, joista ehdottomasti suurin osa on käytetyssä polttoaineessa. Muut voimalaitoksessa syntyvät ydinjätteet ovat keski- ja vähäaktiivisia. Näitä ovat käytön aikaiset huoltojätteet ja laitosten purkamisessa kertyvät käytöstäpoistojätteet.

Ydinjätehuollon haittojen arvioimiseksi tarvitaan vertailukohte. Luonnollinen vertailukohte on nimensäkin mukaisesti luonnonsäteily. Osa ihmisen ja muun elollisen luonnon saamasta säteilyaltistuksesta on peräisin maaperästä liukenevista radioaktiivisista aineista, jotka kulkeutuvat pohjaveden mukana elolliseen luontoon. Samanlainen altistusreitti on pitkän ajan kuluessa todennäköisin loppusijoitetuilla ydinjätteilläkin. Arvioiden mukaan loppusijoitetusta ydinjätteestä elolliseen

***Ydinjätteistä on huolehdettava niin, että turvallisuuteen, tekniseen toteutettavuuteen, taloudellisiin järjestelyihin sekä ydinvoiman yleiseen hyväksyttävyyteen liittyvät näkökohdat tulevat huomioonotetuiksi. Jo nyt tulee varautua myös tulevaisuudessa toteutettavaksi tarkoitettuihin jätehuollon vaiheisiin. Varautuminen on monitahoinen tehtävä ja se sisältää toteuttamiskelpoisten teknisten ratkaisujen suunnittelun, varmistautumisen siitä, että ratkaisu täyttää asetettavat turvallisuusvaatimukset, taloudellisen varmistautumisen hoitamisen sekä tarvittavan juridisen säännösten sekä viranomaistoimintojen olemassaolon.***

luontoon aiheutuva radioaktiivisten aineiden virta on vain vähäinen murto-osa ominaisuuksiltaan samankaltaisten luonnon aineiden virrasta. Ydinjätteistä kaukana tulevaisuudessa elävälle väestölle kokonaisuudessaan aiheutuva vuosittainen säteilyaltistus (annosnopeus) on karkeasti arvioiden samaa suuruusluokkaa kuin ydinvoimalaitosten päästöistä normaalien käytön aikana nykyään elävälle väestölle aiheutuva altistus.

Ydinjätehuollossa ajatus kiinnittyy ensimmäisenä turvallisuuteen ja turvallisten huolehtimismenetelmien kehittämiseen. Menetelmien on tietenkin oltava myös toimivia ja toteutuskelpoisia. On kuitenkin joukko muitakin lähtökohtia, joiden tulee olla kunnossa ydinjätteiden samoin kuin muidenkin ongelmajätteiden asianmukaista huolehtimista varten. Keskeiset lähtökohdat ovat:

**vastuujako ja menettelytavat** jätehuollon turvalliseksi toteuttamiseksi,

**varat** jätehuollon toteuttamiseksi,

toimiva **asiantuntijaorganisaatio** tutkimusta, suunnittelua ja toteutusta varten sekä

kehittynyt **lainsäädäntö** ja toteutumisen **valvonta**.

Turvallisuuteen, tekniseen toteutettavuuteen, taloudellisiin järjestelyihin sekä ydinvoiman yleiseen hyväksyttävyyteen liittyvistä syistä johtuen tulee jo nyt varautua myöskin tulevaisuudessa toteutettavaksi tarkoitettuihin jätehuollon vaiheisiin. Varautuminen on monitahoinen tehtävä ja se sisältää toteuttamiskelpoisten teknisten ratkaisujen suunnittelun, varmistautumisen siitä, että ratkaisu täyttää asetettavat turvallisuusvaatimukset, taloudellisen varmistautumisen hoitamisen sekä tarvittavan juridisen säännösten sekä viranomaistoimintojen olemassaolon.

## Ydinjätehuollon turvallisuuden peruserävaatimukset

Ydinjätteiden huoltoon kuuluu useita erillisiä vaiheita (käsittely, varastointi, kuljetukset, jätetuotteiden lisäkäsittely loppusijoittamista varten sekä loppusijoitus). Periaatteessa kaikkien näiden toteutukselle on asetettu samankaltaiset turvallisuusvaatimukset kuin reaktorienkin käytölle eli monikertaisesti varmentamalla pyritään estämään tai minimoimaan väestön altistuminen säteilylle nykyisin ja myöskin tulevaisuudessa. Ydinjätehuol-



lossa ongelmaksi eivät muodostu onnettomuustilanteet, jotka samalla kertaa altistaisivat suuren väestöryhmän säteilyn aiheuttamille välittömille terveysvaikutuksille. Pulmat liittyvät pikemminkin loppusijoituksen turvallisuuteen, jolloin on tarkasteltava kaikkiaan varsin pitkää ajanjaksoa. Tällöin on kuitenkin kyseessä lisääntynyt säteily, jonka asetettujen turvallisuusvaatimusten mukaan tulee olla selvästi luonnon taustasäteilytasoa vähäisempi rasitus väestölle ja olla enintään samaa luokkaa kuin ydinvoimalaitosten normaalkäytöstä aiheutuva altistus väestölle.

Tärkein mekanismi, jolla haitalliset aineet voivat joutua kallioperään tehdystä loppusijoitustilasta elolliseen luontoon, on niiden hidas liukeneminen jätteestä pohjaveteen ja kulkeutuminen sen mukana pintavesistöihin sekä edelleen lähinnä ravinnon ja juomaveden kautta ihmiseen. Ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudelle esitetyt vaatimukset tähtäävät siihen, että ydinjätteisiin sisältyvät radioaktiiviset aineet säilyvät mahdollisimman pitkään eristettyinä elollisesta luonnosta. Ydinjätteiden pienestä tilavuudesta johtuen voidaan noudattaa ns. TT-periaatetta (*Tiivistä-Tallenna*) teollisuus- ja muiden tavanomaisten jätteiden osalta noudatetun LL-periaatteen (*Laimenna-Levitä*) sijasta. Täydellistä eristystä ei ydinjätteillekään tietysti voida taata loputtoman pitkäksi ajaksi, mutta eristysvaiheen aikana ydinjätteet menettävät varsin nopeasti vaarallisuuttaan radioaktiivisten aineiden hajotessa pysyviksi aineiksi. Siinä vaiheessa kun tekniset eristysjärjestelmät alkavat vähitellen pettää, on ydinjätteissä jäljellä vain vähäisiä määriä pitkäikäisiä radioaktiivisia aineita. Näiden aineiden kulkeutuminen elolliseen luontoon viivästyvät luonnolliset vapautumisesteet, joista tärkein on kallioperä. Lisäksi radioaktiiviset aineet hajoavat myöskin tämän kallioperäkulkeutumisvaiheen aikana sekä laimenevat kallioperässä liikkuvaan puhtaaseen pohjaveteen, jolloin pitoisuudet edelleen alenevat. Lopuksi laimentumista tapahtuu myöskin pintavesistöissä, ennenkuin ydinjätteissä olevat radioaktiiviset aineet voivat aiheuttaa säteilyaltistusta ihmiselle. Luonnollisesti on otettava huomioon myöskin laimenemiselle vastakkainen ilmiö eli haitallisten aineiden rikastuminen elintarvikkeetuissa.

### Ydinjätteiden loppusijoituksen tekniset ratkaisumallit

Ydinvoimalaitosten käytössä syntyvien alhais- ja keskiaktiivisten jätteiden loppusijoituksen osalta on Suomessa päädytty ratkaisuun, jossa kyseiset jätteet loppusijoitetaan voimalaitoksen lähialueelle sijoitettuihin kallioperään louhittuihin onkaloihin. Olkiluodossa ollaan juuri viimeistelemässä tällaisen loppusijoituslaitoksen rakentamista ja laitos on tarkoitettu käyttöön vuonna 1992.

Käytetyn polttoaineen osalta tämänhetkiset suunnitelmat Suomessa perustuvat Loviisan laitoksen osalta käytetyn polttoaineen toimittamiseen takaisin toimitta-

jalle Neuvostoliittoon ja Olkiluodon laitoksen osalta loppusijoittamiseen suomalaisen kallioperään. Loppusijoituslaitoksen tekninen ratkaisumalli perustuu sekä luonnollisiin että keinotekoisin (teknisiin) vapautumisesteisiin. Perusratkaisua, johon Teollisuuden Voima Oy:n nykyiset suunnitelmat perustuvat, havainnollistetaan oheisessa kuvassa.

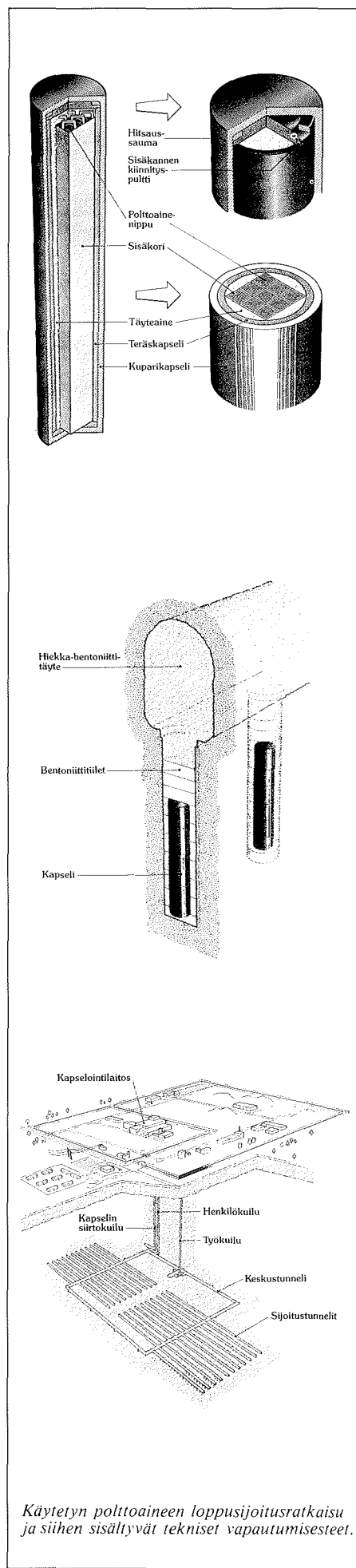
Loppusijoituksen turvallisuuden perustana ovat sekä luonnolliset esteet että moninkertaiset, toisiaan varmistavat tekniset esteet. Vapautumisesteitä on tarkasteltava kokonaisuutena, jolloin yksittäisten esteiden pettäminen ei vielä sanottavasti muuta esteiden yhteisvaikutusta. Yleisperiaatteena on, että tekniset esteet ovat tarpeellisia erityisesti alkuvaiheessa, jolloin aktiivisuus ja lämmönkehitys ovat suurimmillaan. Pitkällä aikavälillä turvallisuus perustuu lisääntyvässä määrin luonnollisiin esteisiin (nuklidien vähäinen liukoisuus, pohjaveden hidas virtaus, nuklidien pidäytyminen, laimentuminen).

Loppusijoitusta varten käytetty polttoaine suljetaan kupari/teräskapseleihin, jotka estävät pohjaveden pääsyn kosketuksiin radioaktiivisten aineiden kanssa. Kapselit sijoitetaan syvälle peruskallioon rakennettuihin tiloihin. Kapselit ympäröidään pohjaveden ja radioaktiivisten aineiden liikkumista estävällä täyteaineella. Tunnelit ja maanpinnalle johtavat kUILUT täytetään ja suljetaan. Radioaktiivisten aineiden on läpäistävä useita peräkkäisiä, toisiaan varmentavia vapautumisesteitä, ennen kuin ne voivat päästä kalliopohjaveden mukana loppusijoitustilasta elollisen luonnon piiriin.

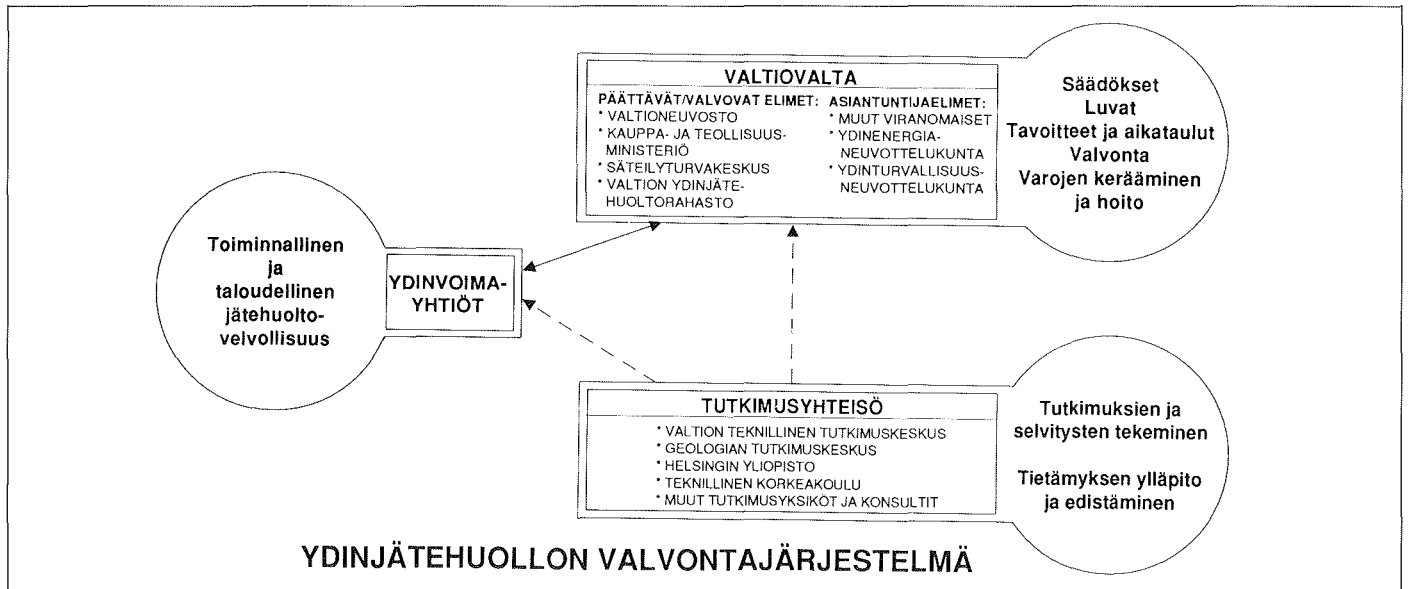
**Tekniset esteet** vaikuttavat radionuklidien vapautumiseen loppusijoitustilasta seuraavilla tavoilla:

1. Radionuklidit ovat pääosin sitoutuneet uraanioksidin, joka itsessään on heikosti veteen liukenevaa. Lisäksi jätteen kanssa kosketuksiin joutuvan pohjaveden määrä ja vaihtumisnopeus ovat pieniä,
2. Itse kapselimateriaali ja sen seinämävahvuus on valittu viivästämaan erittäin pitkään kapselin syöpmistä puhki ja
3. Jätekapselien ja kallion välitila täytetään puristetulla bentoniittisavella. Sittoessaan vettä bentoniittikerros paisuu ja täyttää tiiviisti jätekapselin ja kallioperän välisen tilan ja varmistaa jätekapselin kanssa kosketuksiin joutuvan veden määrän ja liikkumisnopeuden pysymisen vähäisinä.

**Kallioperän sekä pohjaveden** ominaisuudet sekä pohjaveden liikkumisnopeus vaikuttavat merkittävästi turvallisuuteen. Pohjaveden liike kallioperässä on hidasta ja siinä olevien syövyttävien aineiden pitoisuudet ovat alhaisia. Siten sekä kapselin syöpyminen puhki että radionuklidien liukeneminen polttoaineesta sen jälkeen ovat erittäin hitaita. Liuenneet radionuklidit reagoivat kemiallisesti kalliohalkeamien pinnoilla olevien aineiden kanssa. Tällöin muodostuu tasapainotilanne, jossa tarkasteltavat nuklidit ovat tietyn osan



Käytetyn polttoaineen loppusijoitusratkaisu ja siihen sisältyvät tekniset vapautumisesteet.



ajasta vedessä ja osan aikaa sitoutuneena kemiallisesti halkeamien pinnoille. Tämän seurauksena on nuklidien liikkeen hidastuminen pohjaveden liikkumisnopeuteen nähden. Vastaavataipaisesti vaikuttavat myös eräät fysikaaliset ilmiöt.

Kallioperässä tapahtuvan kulkeutumisen jälkeen osa radionuklideista voi joutua joko pintavesistöihin, pintamaakerrokseen tai kaivoihin. Biosfäärin eri vesialtaissa veteen liuenneet aineet laimentuvat edelleen tai voivat sitoutua pohjasedimentteihin. Laimenemiselle vastakkainen ilmiö on radionuklidien rikastuminen luonnon ravintoketjuissa.

Loppusijoitusta koskevien turvallisuusanalyysien tavoitteena on arvioida luonnollisista ja teknisistä esteistä koostuvan loppusijoitusjärjestelmän toimintaa hyvin pitkien ajanjaksojen kuluessa ja esittää arviot turvallisuustasosta muodossa, jota voidaan verrata asetettuihin turvallisuustavoitteisiin. Turvallisuusarviointi edellyttää varsin monien eri tieteenalojen tietämyksen hyväksikäyttöä. Loppusijoituksen turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä voidaan kokeellisesti varmentaa osailmiöittäin, mutta loppusijoitusjärjestelmän kokonaisturvallisuustason arviointi on mahdollista suorittaa ainoastaan matemaattisia ennustemalleja hyväksikäyttäen. Suomessa on suoritettu useita asteittain tarkentuvia turvallisuus selvityksiä eri jäte-tyyppien loppusijoituksen turvallisuudesta. Lähtökohdaksi rakentamis- ja käyttö-lupahakemusten käsittelyprosessille viranomaiset edellyttävät perusteelliset sijoituspaikkakohtaiset turvallisuus selvitykset.

### Jätehuollon kustannukset ja taloudellinen varautuminen

Ydinjätehuollon kustannuksiin kuuluvat kaikki suorat ja välilliset kustannukset jätteen syntyhetkestä huollon loppunsaattamiseen asti. Alueen rajaaminen ei aina ole helppoa. Esimerkiksi ydinjätteiden käsittelykustannukset voimalaitoksessa normaalin käyttövaiheen aikana katsotaan usein laitoksen käyttökustannuksiksi.

Suomessa jätehuollon kustannuksiin luetetaan kaikkien ydinjätelajien eli käytetyn polttoaineen, voimalaitosten käytön aikana syntyvän voimalaitosjätteen ja käytön jälkeisen laitosten purkamisesta kertyvän jätteen hoitamisen kustannukset. Lisäksi mukaan lasketaan jätehuollon tutkimus-, hallinto- ja viranomaiskustannukset.

Jos koko ydinjätehuolto perustuu kotimaassa tehtäviin toimenpiteisiin jätteiden loppusijoitukseen asti, on käytetyn polttoaineen huolto ehdottomasti suurin kustannuserä, ehkä noin 80 % koko jätehuoltokustannuksista vastaten yli 2000 mk/kg polttoainetta.

Ydinvoimalaitosten käytöstäpoistokustannukset sisältävät laitosten purkamisen ja purkamisessa kertyvän radioaktiivisen käytöstäpoistojätteen loppusijoittamisen. Kummankin suomalaisen ydinvoimalaitoksen käytöstäpoistokustannus arvioidaan noin 900 miljoonaksi markaksi (kaksi yksikköä).

Edellisiä vähemmän radioaktiivisen voimalaitosjätteen huolto on yksinkertaisempaa ja halvempaa kuin muiden jäteryhmien. Voimalaitosjätteiden huolto tulee maksamaan kokonaisuudessaan noin 150...200 miljoonaa markkaa yhtä voimalaitosaluetta kohti.

Merkittävä osa jätehuollon toteuttamisesta tapahtuu vasta voimalaitosten käytön loputtua. Täten on perusteltua kerätä varat jätehuoltoon varten jo laitosten tuotantovaiheen aikana. Suomeen on luotu ydinenergiain määrittämällä tavalla yksityiskohtainen ja kattava taloudellinen varautumisjärjestelmä tulevaisuudessa syntyviä jätehuollon kustannuksia varten. Jätteen tuottaja on vastuussa jätehuollon kustannuksista, joita varten ydinvoimayhtiöiltä kerätään vuosittain jätehuoltomaksu valtion ydinjätehuoltorahastoon. Myös Ruotsissa on kehittynyt varautumisjärjestelmä. Järjestelmässämme on joitakin eroavaisuuksia, mm. Ruotsissa voimalaitosjätteiden huolto katsotaan kuuluvaksi voimalaitoksen käyttömeneihin.

Kotimaassa kokonaan toteutettavan jätehuollon kustannukset vaikuttavat noin 1.4 p/kWh tuotetun sähkön hintaan.

### Muu valmius hoitaa jätehuolto

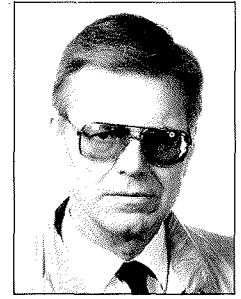
Ydinvoimayhtiöillä on oma jätehuoltotietämys ja -organisaatio. Lisäksi yhteiskunnassa tulee olla vankka alan tietämys, jonka soveltuvin sijainti on yliopistoissa, korkeakouluissa ja itsenäisissä tutkimuskeskuksissa laajan tieteellisen pätevyyden vuoksi. Näitä tarpeita varten on käynnissä kauppa- ja teollisuusministeriön rahoittama Julkisrahoitteisen ydinjätetutkimuksen ohjelma. Myös avoin ja voimakas kansainvälinen tutkimusyhteistyö laajentaa tietämyspohjaa.

Toinen tärkeä yhteiskunnan valmius on kehittynyt säännöstö ja viranomaisvalvonta. Suomessa tärkein ydinjätteitä koskeva laki on ydinenergialaki, joka määrittelee jätehuollon toiminnot luvanvaraisiksi ja jo tutkimusvaiheesta lähtien viranomaisvalvonnan alaisiksi. Valvontaviranomaisista keskeisimmät ovat kauppa- ja teollisuusministeriö ja säteilyturvakeskus. Ministeriö päättää jätehuollon tavoitteista, aikatauluista ja varautumisesta kustannuksiin. Säteilyturvakeskus valvoo jätehuoltotoimien turvallisuutta ja tutkimuksen toteutumista sekä on keskeisiä lausunnonantajia voimayhtiöiden jätehuolto-ohjelmien kattavuuden ja painotuksen arvioinnissa.

Kokonaisvaikutelmaksi jää, että Suomessa lähtökohdat ydinjätehuollon toteuttamiselle turvallisesti ja asianmukaisesti ovat kunnossa ja ydinjätehuollon 'ongelma' on tältä osin ratkaistu. Koska teknisistä ja muista tarkoituksenmukaisuussyistä on järkevää viivästyä varsinaisen toteutusvaiheen ajankohtaa, aivan lopullisesti ratkaistuksi ydinjätetutkimusta ei voida sanoa, ennenkuin on päästy varsinaiseen toteutusvaiheeseen. □

DI Sirkka Vilkamo on KTM:n ydinenergiatoimiston erikoistutkija. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1975. Puh. 90-1605226.

TkT Seppo Vuori on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion johtava tutkija. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1972. Puh. 90-4561.



# Säteilyn hyväksikäyttö ja käytön hyväksyttävyys

*Jokainen suomalainen altistuu ionisoivalle säteilylle säteilyn käytöstä johtuen. Suomessa tehdään vuosittain esimerkiksi yli viisi miljoonaa lääketieteellistä röntgentutkimusta, joten jokainen on keskimäärin ker-  
ran vuodessa röntgentutkimuk-  
sessa. Tutkimuksista aiheutuva  
efektiivinen annos keskimääräi-  
selle kansalaiselle on noin 0,7  
mSv/a. Työympäristössä, jopa  
asunnoissa on yhteensä satoja  
tuhansia säteilylähteitä, joiden  
lähettämää säteilyä — tavalli-  
simmin radioaktiivisen aineen  
emittoimaa säteilyä tai rönt-  
genlaitteessa synnytettyä sätei-  
lyä — käytetään hyödyksi. Sä-  
teilyn käyttö on osa työ- ja  
elinympäristöämme. Tässä ar-  
tikelissa esitellään säteilyn eri-  
laisia käyttömuotoja ja laa-  
juutta. Säteily osoittautuu ole-  
van niin nöyrä ja kuuliainen  
renki, että vain mielikuvitus  
asettaa rajat sen palvelukseen  
ottamiselle, eräänä äärirajoina  
vaikkapa purukumin maun säi-  
lyttäminen ja kulumattoman  
laakeripinnan valmistaminen.  
Onkin aiheellista tarkastella li-  
säksi, onko näinkin laajamit-  
tainen säteilyn käyttö hyväk-  
syttävää.*

Seuraavassa säteilyn hyväksikäyttöä tarkastellaan sen ominaisuuden perusteella, mihin säteilyn käyttö perustuu: säteilyllä saadaan väliaineessa haluttu muutos, aine tunnustetaan sen lähettämällä säteilyn perusteella tai mitataan materiaalin aiheut-  
tama muutos säteilykentässä. Tämä tarkastelutapa on ehkä luonnontieteellisempi kuin tavanmukaisesti jaotteluperusteeksi valittu käyttöalakohtainen jako: lääketiede, tutkimus, teollisuus jne. Ydinenergiaa ei käsitellä tässä artikkelissa.

## Säteilyn aiheuttama muutos kohdemateriaalissa

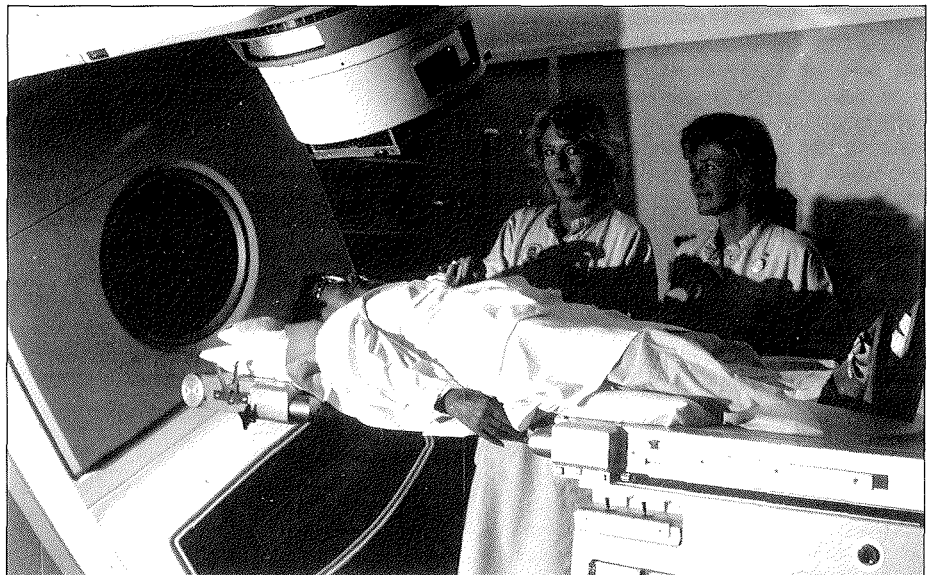
Suuraviivaisin tapa käyttää säteilyä on

hyödyntää sen aiheuttamia muutoksia säteilytettävässä väliaineessa, joko biologisessa solukossa tai muussa materiaalissa.

Biologisen kudoksen säteilyttämisessä tärkein hyötykäyttö on sädehoito, missä säteilyn soluja tuhoavaa vaikutusta käytetään hallitusti hyväksi syöpäkasvaimien tuhoamiseksi. Aikaisemmin sädehoito annettiin pääasiassa joko radiumhoitoina, missä ns. radiumaplikaattori voidaan hoidon ajaksi kiinnittää suoraan hoidettavaan tuumoriin, tai röntgenhoitokoneilla, missä sädehoito annetaan kehon ulkopuolelta telehoitona. Nykyään sädehoito annetaan pääosin telehoitona joko elektroni- tai fotonisäteilynä, joka on synnytetty tyypillisesti 4...25 MeV elektronikiinnyttimillä. Jo tällä vuosikymmenellä on odotettavissa käyttöön tulevan erityisesti sädehoitona suunniteltuja muutamien sadan MeV protoni- ja raskasioni-

teilyttäen noin 0,1 kGy annoksella. Hyönteiset voidaan tuhota viljasta 1 kGy annoksella. Säteilysäilynnässä mikroöimäärää alennetaan esimerkiksi siipikarja- ja katkaraputuotteissa. Steriiliä ruokaa vaativien potilaiden ruoka voidaan steriloida noin 30 kGy annoksella. Elintarvikkeiden säteilykäsittely on erityisen merkityksellistä ruokapulaa potevissa lämpimissä maissa, missä on lisäksi puutteelliset kylmä-säilytys- ja kuljetusjärjestelmät. Teollisessa mittakaavassa toimivia laitteita on myös useimmissa Euroopan maissa. Suomen elintarvikelainsäädäntö ei salli muiden kuin mausteiden ja erikoisruokavaliota tarvitsevien potilaiden ruoan säteilykäsittelyä tai myyntiä.

Verivalmisteiden 15...50 Gy:n säteilytys estää siirretyn veren lymfosyyttien jakautumisen, jolla estetään ns. käänteishyljintäreaktio potilaassa. Säteilyttämiseen käy-



Sädehoitoa annetaan potilaalle.

Lehtikuva Oy

kiinnyttämiä. Suomessa annetaan vuosittain noin 10 000 potilaalle sädehoitoa, yhteensä yli 100 000 hoitokertaa.

Säteilysteriloinnissa elävät mikrobit tuhoataan täydellisesti suurella säteilyannoksella (30 kGy). Säteilylähteenä käytetään yleisimmin <sup>60</sup>Co-gammasäteilylähteitä. Käytettävät aktiivisuudet ovat luokkaa 10 PBq. Suomessa on yksi teollisessa mittakaavassa toimiva laitos. Siellä steriloidaan pääasiassa kertakäyttöisiä sairaanhoitovälineitä ja -tarvikkeita. Elintarvikkeita voidaan säteilyttää eri tarkoituksien varten. Itämisen estämiseksi tai kypsytymisen hidastamiseksi voidaan esimerkiksi perunoita, sipuleita ja hedelmiä sä-

tettävissä laitteissa on tyypillisesti muutaman kymmenen TBq:n <sup>137</sup>Cs-säteilylähde. Hyönteisten säteilyttämisessä tavoitteena voi olla, että ne täysi-ikäisinä ovat steriilejä. Laboratorio-oloissa kasvatetut steriilit koirasyksilöt luontoon päästettynä parrittelevat normaalisti, mutta naaraat eivät hedelmöidy. Menetelmää voidaan käyttää mm. moskiitto-, tsetsekräpäs- tai tuohyönteiskantojen hävittämiseen laajoilta alueilta.

Säteily on merkittävä, ehkä merkittävin "mutageeniagentti" luonnollisissa lajien kehityksissä. Sitä käytetään myös tarkoituksellisesti uusien mutanttilajikkeiden kehittämiseksi. Näin kehitetyillä lajikkeil-

la on suuri taloudellinen merkitys erityisesti maanviljelyksessä. Käytössä on useita satoja uusia lajikkeita, jotka ovat saatoisampia, paremmin viljelyoloja kestäviä tai muilta ominaisuuksiltaan aikaisempia lajikkeita parempia. Suomessa kehitettyjä nykyään käytössä olevia säteilymutantteja viljelykasveja ovat mm. Aapo ja Eero ohralajikkeet sekä Veli ja Ryhti kauralajikkeet. Alkuperäinen "oikean" makuisen piparminttuöljy on pelastettu estämällä tautitartunnan saaneen sitä tuottavan kasvin tuhoutuminen kehittämällä tautia kestävä säteilymutantti.

Säteilyä voidaan käyttää muuttamaan myös aineen kemiallisia sidoksia. Säteilypolymeroinnilla saadaan esimerkiksi etyleenistä polyetyleenä. Säteilyä käytetään eräissä sovellutuksissa kemialliseen ristisilloitukseen tuotteen joidenkin ominaisuuksien muuttamiseksi, esimerkiksi mekaanisen, kemiallisen ja lämmön kestävyuden sekä sähköön eristyskyvyn parantamiseksi. Kumin vulkanointi rengasteollisuudessa ja kutistekalvon valmistus ovat esimerkkejä teollisista massatuotteista, joiden valmistuksessa ristisilloitus on tehty säteilyllä. Muovipäällysteisten paperituotteiden valmistuksessa voidaan käyttää säteilyä hyväksi liiamaunprosessissa. Suomessa kokeillaan paperin säteilypäällystämistä kolmessa laitoksessa, mutta teollista säteilyn prosessikäyttöä ei ole. Säteilyn prosessikäytön etuna on pienempi energian kulutus, kun reaktion yleensä muutoin vaatimaa lämmitystä eikä tuotteen kuivatusta tarvita. Myös liuotinpäästöt ovat vähäisempiä. Energian halpa hinta ja vesiliukoisten liuottimien kehittyminen ovat huonontaneet säteilyprosessoinnin kilpailukykyä tavanmukaisiin menetelmiin verrattuna siitä, mitä odotettiin 70-luvulla. Joidenkin tuotteiden osalta halutut ominaisuudet ovat sellaisia, että säteilyprosessoinnille ei ole vaihtoehtoa. Säteilylähteinä käytetään elektroniikkijohdettimia tai  $^{60}\text{Co}$ -gammalähteitä.

Elektroni- tai ionisuihkua voidaan käyttää myös sellaisinaan muuttamaan materiaalien mekaanisia, sähköisiä ja optisia ominaisuuksia. Ionisuihkupommituksella voidaan pienentää teräksen pintakerroksen kulumisen jopa tuhannenteen osaan. Sähköjohtimen johtokyky paranee elektroniikkijohdettimilla. Ionisuihkuteknologia tarjoaa rajattomat mahdollisuudet muuttaa metallien, puolijohdeiden, keraamisten aineiden, muovien ja orgaanisten aineiden ominaisuuksia.

Säteilyllä voidaan myös pilkkoa molekyylejä. Menetelmän soveltuvuutta on tutkittu mm.  $\text{SO}_x$  ja  $\text{NO}_x$  molekyylin poistamiseen savukaasuista ja eräiden muovijätteiden hajottamisessa.

### Aineen tunnistaminen säteilyn avulla

Säteilyä voidaan käyttää hyväksi aineen tunnistamisessa periaatteessa kahdella eri tavalla. Aine voidaan merkitä radioaktiivisella aineella ja tunnistaa jälkepäin



Metalliseoksen tunnistaminen kannettavalla radionuklidiherätteisellä röntgenfluoresenssiin perustuvalla mittalaitteella. Laitte antaa mittaustuloksena suoraan metalliseoksen nimen, joten sen käyttäminen ei vaadi erityistä koulutusta.

säteilyn perusteella, ns. merkkiainetekniikka. Toisessa menetelmässä tutkittava aine tehdään säteileväksi joko säteilyttämällä se radioaktiiviseksi (aktivointianalyysi) tai röntgensäteilyllä (röntgenfluoresenssi). Säteilyn ylivoimaisuus aineen tunnistamisessa kaikkiin muihin menetelmiin verrattuna perustuu kahteen asiaan: jokainen alkuaine lähettää sille yksilöllistä säteilyä ja tämä säteily on mitattavissa herkästi taustasta erottavana sopivilla mittausjärjestelyillä. Tämän kirjoituksen puitteissa on mahdotonta edes luettelomaisesti esitellä ne alueet saatikka laittaa ne tärkeysjärjestykseen, joissa säteilyä käytetään hyväksi tunnistamalla aine sen avulla. Seuraavassa on eräitä satunnaisia esimerkkejä.

Lääketieteellisissä radionukliditutkimuksissa potilaalle annettava fysiologinen yhdiste merkitään radioaktiivisella nuklidilla. Sopivasti valittu radiolääkeaine kertyy tutkittavaan elimen ympäristön kudosta tehokkaammin, joten ulkoisilla säteilymittauksilla saadaan tietoa tutkittavan elimen tilasta tai toiminnasta. Yleisimmät tutkittavat elimet ovat aivot, sydän, maksa, munuaiset, keuhkot, luusto ja kilpirauhanen. Radioaktiivista jodia voidaan käyttää myös sädehoitona kilpirauhasen yli toimintaan tai karsinomaan. Suomes-

sa tehdään keskus- ja aluesairaaloissa vuosittain noin 80 000 potilastutkimusta, toimenpidekohtainen efektiivinen annos potilaalle on keskimäärin 5 mSv. Tutkimukset tehdään pääasiassa ns. gammameralla. Merkkiainetekniikkaa voidaan käyttää diagnostisesti myös verinäytteestä tehtävinä in vitro -mittauksina hormoni-, lääkeaine- tai muiden vastaavien aineiden pitoisuuksien määrittämiseksi, ns. RIA-tutkimukset. RIA-tutkimuksia tehdään vuosittain maassamme noin 1,5 miljoonaa. Tutkimukset tehdään pääasiassa  $^{125}\text{J}$ :llä. Maailmanlaajuisesti on arvioitu, että joka kolmas potilas hyötyy jollakin tavalla radionuklidien lääketieteellisestä käytöstä.

Maanviljelyksessä ja ruoan tuotannossa radioaktiivisilla merkkiaineilla selvitetään kasvien ravinnonottoa ja keinolannoitteiden ja kasteluveden optimiannostelua.  $^{14}\text{C}$  merkattua  $\text{CO}_2$ :ta käytetään vesistö- näytteiden fotosynteesitutkimuksissa, ns. perustuotantotutkimukset. Maailmanlaajuisesti merkkiainetekniikkaa sovellettiin veden kiertoalun tutkimuksessa, kun merkkiaineena käytettiin 50-luvun ydin- kokeissa ilmakehään vapautunutta tritiumia. Nykyään merkkiainetekniikkaa sovelletaan hydrologiassa erityisesti kuivien alueiden vesivarantojen selvittämisessä.



Toinen sovellutus luonnon radioaktiivisen aineen käytöstä on orgaanisten aineiden <sup>14</sup>C atomien suhteellisen pitoisuuden käyttö aineen iän määrittäyksissä.

Aktivointianalyysissa tutkittava aine tehdään radioaktiiviseksi tavallisemmin neutronisäteilyllä, mutta myös suurengisillä ionikihihtimillä. Tutkittavan aineen alkuaineet voidaan tunnistaa kullekin yksilöllisestä säteilystä. Viitteenä menetelmän soveltamismahdollisuuksista on sen herkkyys. Jopa luokkaa 10<sup>-15</sup> kg ainemäärä voidaan tunnistaa.

Röntgenfluoresenssissa herättävänä säteilyä on matalaenerginen, muutaman kymmenen keV röntgensäteily. Tutkittavan aineen lähettämä fluoresenssisäteily analysoidaan röntgendiffraktometrillä tai spektrianalyysaattorilla, joten eri alkuaineet voidaan tunnistaa niiden karakteristisesta röntgensäteilystä. Säteilylähteenä voi olla myös sopivaenerginen radionuklididi. Suomessa on kehitetty radionuklidihärräiteinen jatkuvatoiminen alkuaineanalyysaattori, joka soveltuu nesteiden, liuosten ja lietteiden jatkuvatoimiseen prosessinvalvontaan esimerkiksi kaivosteollisuudessa. Kannettavalla, alle 10 kg painoisella laitteella voidaan tunnistaa alkuaineet piistä uraaniin. Laite on ohjelmoitu tunnistamaan myös 100 erilaista metalliseosta muutaman cm<sup>2</sup> pintamittauksella. Laitetta käytetään mm. romuliikkeissä.

### Säteilykentän muutoksen hyödyntäminen

Säteilyn absorboitumista aineeseen hyödynnetään monella tavoin. Yksinkertainen sovellutus on säiliössä olevan aineen pinnankorkeuden määrittäminen mittamalla ainemäärän muutoksesta johtuva astian läpäisevän säteilyn muutos. Absorboivan ainemäärän muutos voi johtua myös putkessa virtaavan aineen tiheyden muutoksesta tai nauhamaisen materiaalin ainepaksuuden muutoksesta. Teollisuudessa säteilyn mittaamista käytetäänkin yleisesti prosessiaineiden tiheyden mittaamiseen, ainemäärärien mittaamiseen hinnavaaoissa ja tuotteen neliöpainon mittaamiseen. Kun mittaustulos saadaan välittömästi, niin laitteet soveltuvat myös prosessin säätöön. Nopeimmissa paperiko-neissa paperia syntyy nopeudella 20 m/s ja paperin neliöpainoa voidaan mitata ja säätää jatkuvatoimisella, ainetta koskettamattomalla säteilylaitteella.

Röntgenabsorptiokuvan muodostuminen on vanhin röntgensäteilyn hyötykäyttö. Voitane sanoa, että röntgensäteily keksittiinkin tämän havainnon perusteella. Röntgensäteilyn suurin hyötykäyttö on epäilemättä lääketieteellinen röntgenlapi-valaisu ja -kuvaus. Käytännöllisesti katsoen jokaisessa maamme sairaalassa on röntgenlaite, yhteensä yli 2000 röntgenputkea. Lisäksi hammaslääkäreillä on lähes 4500 hammasröntgenlaitetta. Nykyaikaisilla röntgenlaitteilla, tietokonetomografialaitteilla, saadaan kolmiulotteinen kuva tutkittavasta kohteesta. Toimenpi-

deradiologiassa tehdään potilaalle läpivalaisulla kohdistettuja toimenpiteitä, esimerkiksi verisuonien avartamista katetrien kautta viedyillä työkaluilla.

Teollisuusröntgenkuvaus on eräs tärkeimmistä ja usein korvaamaton ainetta rikkomaton tutkimusmenetelmä laitteiden valmistuksessa ja käytönaikainen tarkastusmenetelmä. Röntgenkuvauksilla tarkastetuissa laitteissa voidaan turvallisuusmarginaalia pienentämättä tehdä materiaalia säästäviä rakenteita; käytön aikana tarkastuksilla voidaan estää odottamattomia vahinkoja ja ennakoita huoltotarve.

Säteilyn mittaaminen perustuu materiaalin ja säteilyn vuorovaikutukseen, joka sopivilla järjestelyillä voidaan havaita mitattavasti. Helpoimmin ilmaistava ilmiö on kaasun ionisoituminen. Palovarjoittimissa savukaasut rekombinoivat ilmaan pienen säteilylähteen (tyypillisesti 40 kBq <sup>241</sup>Am-lähde) aiheuttamaa ionisaatiota. Muutos voidaan ilmaista esimerkiksi hälytysääninä. Tällaisia kotien palovarjoittimia on maassamme satojatuhansia.

### Säteilyn käytön hyväksyttävyyden

Edellä esitetyistä esimerkeistä voi päätellä säteilyn käytön hyödyn. Monessa tapauksessa se voidaan suoraan määrittää rahallisen säästönä verrattuna siihen, ettei säteilyä olisi käytettävissä. Joissakin tapauksissa hyöty on ihmisen terveyden parantamista, jopa hengen pelastamista. Säteilyn käytön kustannuksia ovat laitteiden hankinta- ja ylläpitokustannukset, käyttökustannukset sekä erityisenä kustannuksena säteilylaitteista työntekijöille ja ympäristölle aiheutuva säteilyaltistus. Käytön hyödyllisyyden ja hyväksyttävyyden määrää se, onko hyöty suurempi kuin kustannukset.

Seuraavassa esitän lyhyen arvion Suomessa säteilyn käytöstä aiheutuvasta terveydellisestä haitasta ja siitä aiheutuvasta "kustannuksesta". Työntekijöille säteilyn käytöstä, poislukien ydinenergian käyttö, aiheutuva kollektiivinen efektiivinen annos on vuosittain vajaa 2 manSv, tähän asti kertynyt kollektiivinen efektiivinen kokonaisannos viimeisten 25 vuoden ajalta on vajaa 30 manSv. Suurimmat henkilökohtaiset elinikäisannokset ovat alle 0,3 Sv, keskimääräinen annosta saaneen työntekijän elinikäisannos on noin 8 mSv.

Englannissa on vuonna 1990 arvioitu 1 manSv annoksen terveydellisen haitan kustannuksiksi Suomen rahassa noin 100 000 mk. Pohjoismaissa on päädytty samaa suuruutta olevaan arvioon. Kansanterveydellisenä haittana työntekijöiden säteilyaltistuksesta aiheutuva kustannus olisi täten vuosittain 200 000 mk ja koko tähän astisen altistuksen (viimeiset 25 vuotta) kustannus olisi 3 Mmk. Kansanterveydellisenä kustannuksena säteilyhaittaa voinee suoralta kädeltä pitää mitättömänä säteilyn käytön hyötyyn verrattuna, vaikka hyötyä ei tässä ole pyrittykään tarkemmin arvioimaan.

Teollisuudessa, tutkimuksessa ja opetuksessa käytössä olleiden säteilylaitteiden ja radionuklidilaboratorioiden lukumäärä vuonna 1990.

<b>Radioaktiivista ainetta sisältävät laitteet</b>	<b>4 309</b>
rajakytkimet	1 763
tiheysmittarit	832
pinnankorkeusmittarit	610
pintapainomittarit	456
hinnavaa'at	177
paksuusmittarit	72
kosteusmittarit	72
fluoresenssianalyysaattorit	63
radiografialaitteet	38
muut laitteet	226
<b>Röntgenlaitteet ja kiihdyttimet</b>	<b>700</b>
radiografialaitteet	400
läpivalaisulaitteet	50
diffraktio- ja fluoresenssianalyysaattorit	159
muut analysilaitteet	51
muut laitteet	40
<b>Radionuklidilaboratoriot</b>	<b>181</b>

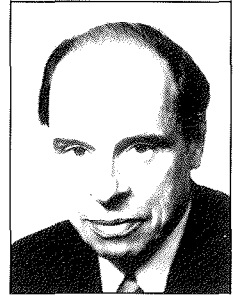
Yksittäisen työntekijän kannalta asiaa on tarkasteltava henkilökohtaisena lisätodennäköisyytenä kuolla tai sairastua säteilystä aiheutuvaan syöpään. Tämä todennäköisyys on noin 5x10<sup>-2</sup>/Sv. Keskimääräinen elinikäinen riski olisi täten 0,4/1000 ja suurimmillaan 15/1000. Työntekijän henkilökohtaista riskiä ei voi pitää mitättömänä. Sitä voidaan kuitenkin verrata muiden työalojen tapaturma-alttiuteen. Seuraavassa laskelmassa nykyiset kuolemaan johtaneet työtapaturmasuhteet on kerrottu 25 vuodella. Kaikilla toimialoilla kuoleman riski 25 vuoden työaikana on 1,3/1000 ja kaikkein tapaturma-alttiimmalla alalla, metsätaloudessa 5/1000. Julkisessa hallinnossa ja terveydenhoidossa työstä johtuva kuoleman riski on sama kuin säteilytyössä keskimäärin.

Lääketieteellisestä sädediagnostiikasta potilaille aiheutuva vuosittainen efektiivinen annos on noin 4000 manSv. Tästä aiheutuvaa noin 100 syöpätapausta on punnittava sillä usein henkeä pelastavalla hyödyllä, mikä yli 5 miljoonasta tutkimuksesta saadaan, joten käytön hyväksyttävyyden ilmeinen.

Kokonaisuutena arvioiden säteilyn käyttö on selvästi hyväksyttävää. Eräille säteilytyön tekijöille säteilystä aiheutuvaa terveydellistä riskiä ei voi pitää mitättömänä, mutta kuitenkin siedettävänä verrattuna muiden työalojen riskiin. Vaikka säteily onkin huono isäntä — kuten tulikin — niin säteilylaitteiden käyttöturvallisuuteen ja käyttötapoihin jatkuvaa huomiota kiinnittämällä se voidaan kuitenkin pitää hyvänä ja hyväksyttävänä renkinä. □

FT Simo Rannikko on säteilyturvakeskukseen tarkastusosaston päällikkö. Puh. 90-7082251.





# Tavoitteena kestävä kehitys

**Kestävää kehitystä ei niinkään vaaranna raakaenergiavarojen ehtyminen vaan ajankohtaisempi uhka on ympäristön saastuminen, jätteiden ja päästöjen huima kasvu sekä kasvihuoneilmaston voimistumisesta johtuva ilmaston muutos. Kestävän kehityksen tavoitteen saavuttamiseksi energian hankinnassa ja kulutuksessa on tehtävä rajuja muutoksia, joista oleellisimmat ovat energiankulutuksen kasvun pysäyttäminen ja kivihiilen korvaaminen ydinvoimalla sekä biomassan kasvun kaikinpuolinen edistäminen.**

'Kaikki virtaa' oli 6. vuosisadalla ennen ajanlaskumme alkua eläneen kreikkalaisen filosofi Herakleitoksen peruslauselma. 'Olemassaolo on kuin virta: Siinä ei voi kahta kertaa astua samaan veteen.'

Muutokset Herakleitoksen ajoista ovat valtavat ja jatkuvasti kiihtyvät. Maapallon asukasluku, joka Herakleitoksen aikoihin lienee ollut noin sata miljoonaa, saavutti miljardin 1800-luvun alussa. Noihin aikoihin irlantilainen Thomas Malthus kirjoitti kuuluisan teoksensa 'Essay on the Principle of Population' missä hän ennusti väestön kasvun johtavan jatkuvasti pahenevaan nälänhätään ja ihmiskunnan kurjistumiseen.

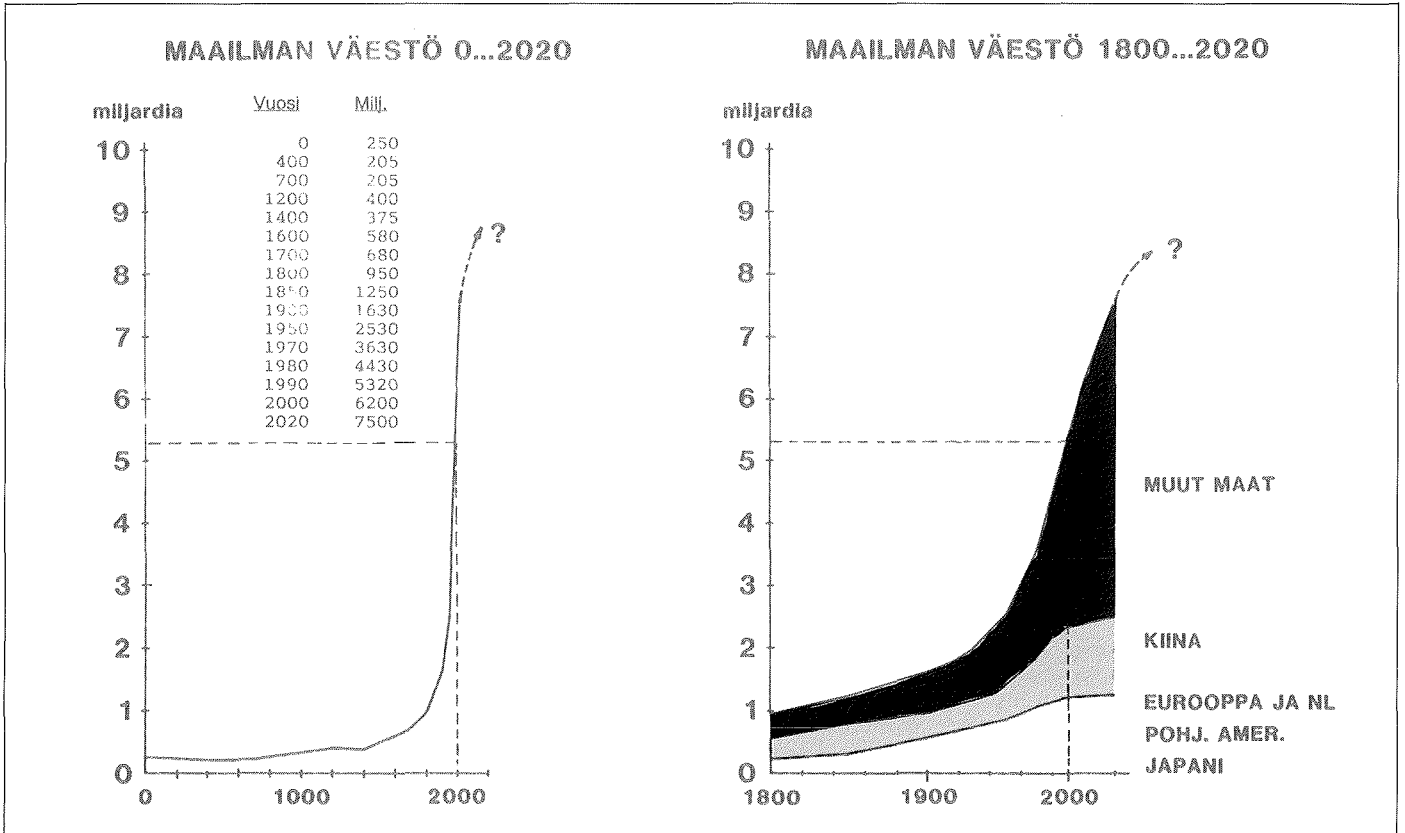
Näin ei kuitenkaan käynyt. Väestönkasvu kiihtyi ja nälänhätä väistyi. Kahden miljardin raja sivuutettiin 1920-luvulla ja 2. maailmansodan jälkeen oltiin jo 3 miljardissa. 5 miljardin raja sivuutettiin 1980-luvun lopulla ja tällä hetkellä maapallon väkiluku kasvaa noin sadalla miljoonalla vuodessa, eli enemmän kuin koko ihmiskunnan väkimäärä Herakleitoksen aikoihin.

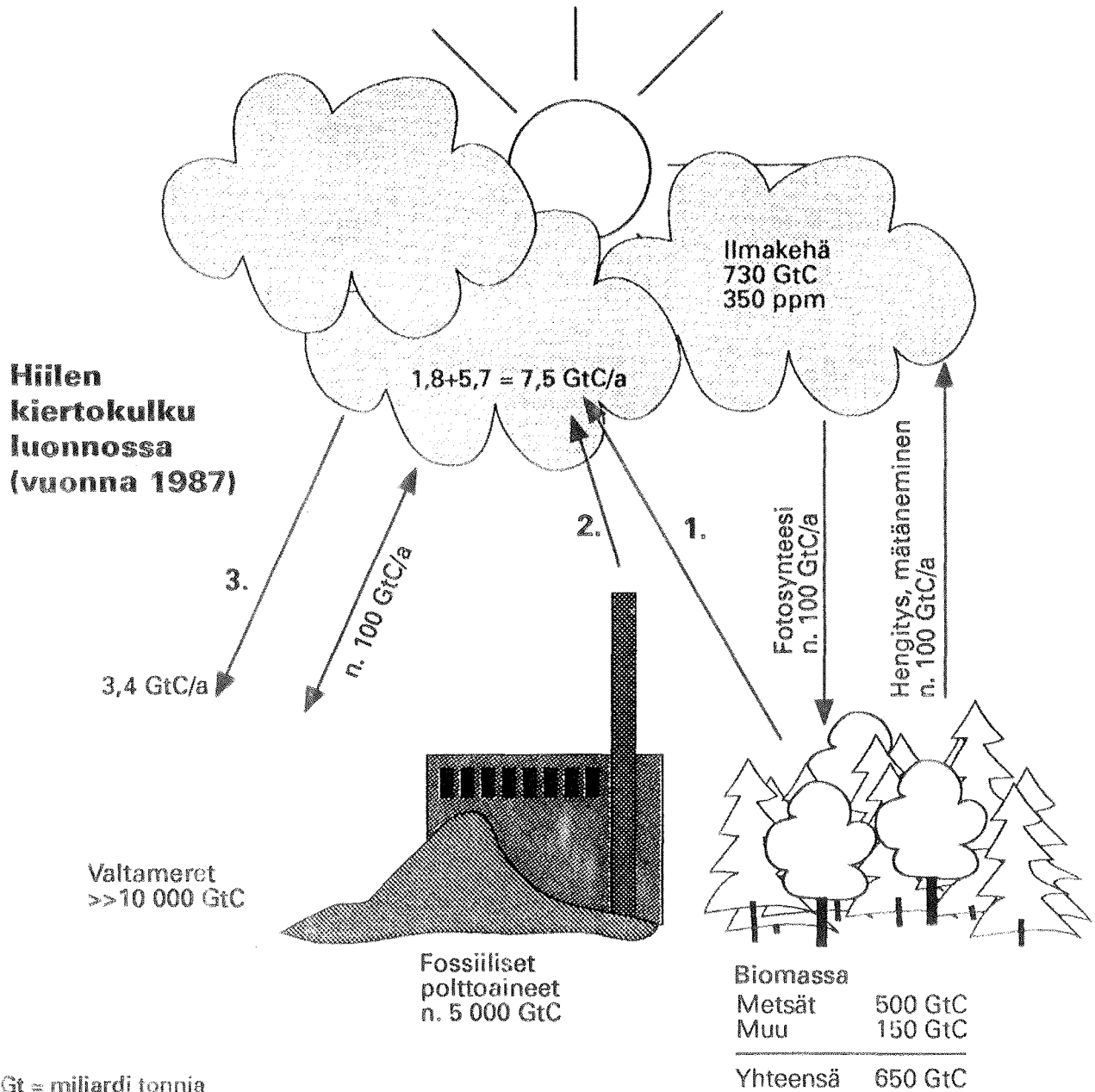
Huikeasta väestönkasvusta huolimatta ihmiset elävät paremmin. Elintarvikkeiden ja muiden hyödykkeiden kulutus henkeä kohden on noussut. Niiden tuotanto on tieteen ja tekniikan ansiosta kasvanut vielä nopeammin kuin väestö. Näin tavallinen Matti Meikäläinen elää tänä päivänä

mukavammin kuin kreivit ja paroonit ennen vanhaan. Aineellisen hyvinvoinnin ohella myös yhteiskunnalliset olot ovat parantuneet: ihmisten ja kansojen välinen tasa-arvo on toteutunut ennen näkemättömässä mitassa ja väkivallan käyttö ongelmien ratkaisukeinona torjutaan yhä yleisemmin.

Edellä kuvattu kehitys on johtanut jättiläismäisiin materiaalivirtoihin. Luonnonvarojen ja elintarviketuotannon riittävyys ei kuitenkaan vielä ole uhka, vaan ongelma on noussut ympäristön saastuminen. Maaperä, vedet ja ilmakehä eivät kestä niin suuria jäte- ja päästömääriä, joita nopeasti kasvava tuotanto aiheuttaa. Seurauksena on katastrofi jonka estäminen on kestävä kehityksen tavoite.

Kestävälle kehitykselle on jo ehditty laatia monta määritelmää. Seuraavat esimerkit ovat syntyneet Padasjoen kunnan kestävä kehityksen projektin yhteydessä. Padasjoki on ensimmäisenä kuntana Suomessa käynnistänyt kestävä kehityksen projektin.





1 Gt = miljardi tonnia

1. Puun poltosta ja biomassan pienenemisestä (metsähakkuut ym.) johtuva  $\text{CO}_2$  -ylijäämä =  $1,8 \text{ GtC/a}$
2. Fossiilisten polttoaineiden polttamisesta johtuva  $\text{CO}_2$  -ylijäämä =  $5,7 \text{ GtC/a}$
3. Valtameret sitovat  $3,4 \text{ GtC/a}$

**Kestävän kehityksen käsite:**

'Kestävällä kehityksellä' tarkoitetaan ihmiskunnan nykyisten perustarpeiden tyydyttämistä viemättä tulevilta sukupolvilta mahdollisuutta tyydyttää omat tarpeensa.

**Kestävä kehitys pähkinänkuoressa:**

Kestävä kehitys tähtää siihen, että ihmiset oppivat elämään pysyvästi sovussa keskenään ja luonnon kanssa. Taloudellisen kasvun laatua on muutettava siten, että kasvu ei vaaranna ympäristöä tai johda luonnonvarojen riistoon. Se edellyttää muutoksia totuttuihin käyttäyty-

mistapoihin sekä arvoihin ja asenteisiin.

Kestävän kehityksen välttämättömyydestä ovat kaikki ihmiset yksimielisiä, mutta keinoihin tultaessa törmätään ristiriitoihin, koska kestävän kehityksen tavoitteet, toisaalta taloudellisen kasvun ja taloudellisen hyvinvoinnin turvaaminen ja toisaalta luonnonvarojen säästö, päästöjen ja jätteiden vähentäminen, ovat usein ristiriidassa keskenään.

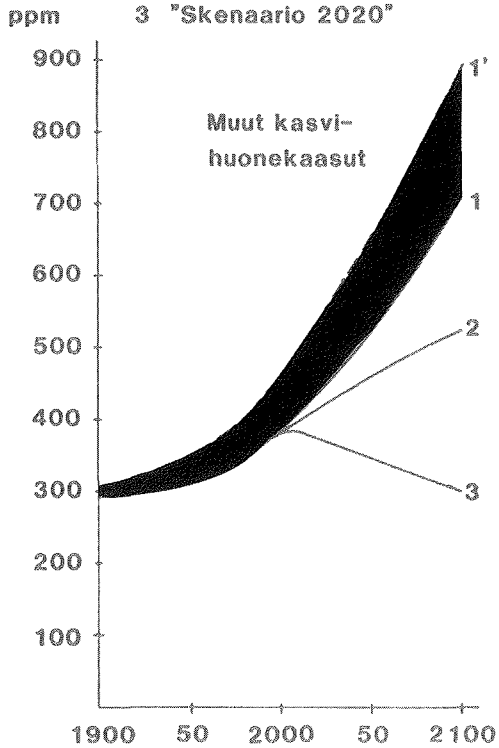
Julkilausumissa esitetyt keinovalikoimat, kuten

1. kriittinen kuormitus (taloudellisen toiminnan vaikutukset eivät saa ylittää luonnon sietokykyä),
2. aiheuttamisperiaate (aiheuttajan tulee maksaa taloudellisesta toiminnasta ympäristölle koituvat kustannukset),
3. tuottajan vastuu (tuottaja vastaa valmistamistaan tuotteista niiden koko elinkaaren aikana, tuotteiden käyttö ei saa aiheuttaa ihmisten terveydelle ja ympäristölle haittaa) sekä

### ILMAKEHÄN KASVIHUONEKAASUPITOISUUDET

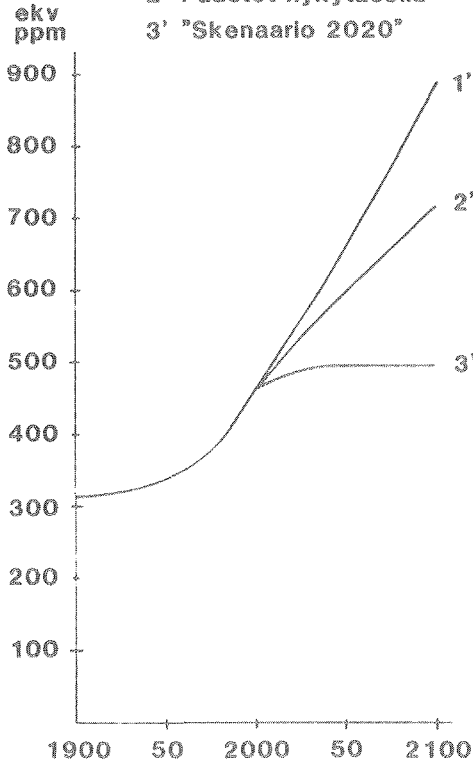
#### CO<sub>2</sub>-PITOISUUDET (ppm)

- 1 "Business as usual"
- 2 Päästöt rajoitetaan nykytasolle
- 3 "Skenaario 2020"



#### KAIKKIEN KASVIHUONEKAASUJEN PITOISUUDET (ekv CO<sub>2</sub> ppm)

- 1' "Business as usual"
- 2' Päästöt nykytasolla
- 3' "Skenaario 2020"



4. paras käyttökelpoinen tekniikka, tulevat konkreettisiksi vasta kun niihin sisältyvät pulmat ja ristiriidat on kvantitatiivisesti selvitetty ja hankalat päätökset saatu aikaan. Yksityisten ihmisten asenteet ja toimet ovat tärkeitä, samoin alueelliset ja valtakunnalliset toimenpiteet, mutta vasta kansainvälinen yhteistyö turvaa tavoitteet. 'Maassa rauha ja ihmisillä

hyvä tahto' on keskeinen ehto kestävälle kehitykselle. Ydinsota, ilmamehän saastuminen ja nopea ilmastonmuutos tuhoaisivat kukin erikseen kestäväen kehityksen. Ne eivät ole torjuttavissa minkään yksittäisen valtion toimin. Onnistuminen edellyttää kansainvälistä yhteistyötä, jossa kukin maa omien voimavarojensa puitteissa tekee parhaansa yhteisen uhkan torjumiseksi. Kestävä kehitys merkitsee

muutosta kansainväliseen politiikkaan. Tähän asti kansallisen edun turvaaminen on ollut politiikan kulmakivi. Nyt yhteisen edun edistäminen on parhainta politiikkaa myös kansalliselle kestäväälle kehitykselle.

**Onko kestäväen kehityksen saavuttaminen enää käytännössä mahdollista?** Tarkastelomme edellytyksiä ilmaston muutoksen torjumiseksi.

Taulukko. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kehittyminen 1950—1990.

	1950	1960	1970	1980	1990
<b>1. Päästöt, Gt/a</b>					
Fossiiliset	1,5	2,4	4,0	5,2	5,8
Biosfääristä	2,2	2,0	2,0	2,0	1,8
Yhteensä	3,7	4,4	6,0	7,2	7,6
<b>2. Valtameriin upposi</b>	3,0	3,1	3,2	3,4	3,6
<b>3. Ilmakehään jäi</b>	0,7	1,3	2,8	3,8	4,0
<b>4. Ilmakehän hiilimäärä GtC</b>	650	660	680	710	750
<b>5. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus, ppm</b>	310	314	324	339	357

Kasvihuoneilmiö, tarkemmin sanottuna kasvihuoneilmiön voimistuminen ja siitä aiheutuva ilmaston muutos, ovat äkkiä nousseet julkisen keskustelun polttopisteeseen.

Syynä siihen on maapallon lämpötilaa säätelevien kasvihuonekaasujen, ennen kaikkea hiilidioksidin, mutta myös muiden kasvihuonekaasujen, kuten freonien ja metaanin, päästöjen nopea kasvu 1950-luvulta lähtien.

Kun kasvihuonekaasujen pitoisuus ilmakehässä on varsin pieni — hiilidioksidin 0,035 prosenttia eli 350 miljoonasosaa (350 ppm) ja muiden kasvihuonekaasujen vielä tätäkin paljon pienempi — pystyy ihminen nopeasti kasvavilla teollisilla toi-

minnoillaan oleellisesti lisäämään kasvihuonekaasujen pitoisuuksia ilmakehässä. Jos kasvihuonekaasujen päästöt jatkavat kasvuaan nykyisillä trendeillä, tulee niiden pitoisuus ilmakehässä jo ensi vuosituuhannen alkupuoliskolla kaksinkertaistumaan. Tästä aiheutuva ilmaston muutos on kymmeniä kertoja nopeampi kuin maapallon historiassa tähän asti esiintyneet ilmaston muutokset. Sopeutuminen näin suuriin ja nopeisiin muutoksiin tuottaisi ihmiskunnalle ja koko luomakunnalle hyvin suuria vaikeuksia ja voisi johtaa taloudelliseen ja poliittiseen kaaostilaan.

Päästöt ovat kasvaneet niin suuriksi, että niiden säilyminen nykyisilläänkin johtaa ilmaston muutokseen. Kasvihuoneilmaston voimistuminen ja siitä aiheutuva ilmastomuutos eivät enää ole torjuttavissa, mutta niiden eteneminen voidaan pysäyttää vähentämällä päästöjä. Teknisteellisten akatemioiden kannanoton mukaan ilmastonmuutos on ehkä suurin ihmiskunnan tulevaisuuden uhka tällä hetkellä, ja sen torjumiseen on tartuttava kaikin mahdollisin keinoin.

Uhka on maailmanlaajuinen, koko ihmiskuntaa koskeva, ja sen torjuminen edellyttää kansainvälistä yhteistoimintaa, samalla kun kehittyneiden ja paljon energiaa käyttävien teollisuusmaiden kuten Suomen on omalta osaltaan pystyttävä nopeisiin ja tehokkaisiin toimenpiteisiin omien päästöjensä vähentämiseksi.

Ilmastonmuutos jää sitä pienemmäksi, mitä nopeammin se pysäytetään. Jos kasvihuonekaasujen pitoisuuden kasvu ilmakehässä pystytään pysäyttämään jo vuonna 2020, maapallon keskilämpötilan nousu jää tasolle 1...1,5° C. Jos päästöt jatkavat kasvuaan nykyisten trendien mukaan ('business as usual'), olisi lämpötilan nousu 2020 mennessä jo 2° ja jatkuisi edelleen 3...4 asteeseen vuonna 2100, jolloin muutos olisi jo samaa suuruusluokkaa kuin jääkaudesta nykypäivään. Eri puolilla maapalloa lämpötilan muutos vaihtelisi suuresti. Se olisi korkeilla leveysasteilla ja varsinkin niiden talvikuukausilla paljon suurempi kuin päiväntasaajan lähellä. Suomen talvien keskilämpötilan nousu olisi ennusteiden mukaan, vaihtoehtoisista riippuen, alueella 4...16°. Sateet lisääntyisivät korkeilla leveysasteilla, varsinkin talvella, keskileveysasteilla tapahtuisi kuivumista ja aavikoitumista. Mullistuksia paikallisiin sääolosuhteisiin voivat aiheuttaa myös merivirtojen muutokset. Meren pinta lähtisi nousemaan.

Ilmaston muutoksen pysäyttäminen on siis kestävä kehityksen keskeinen ehto. Kasvihuoneilmaston voimistuminen pysähtyy jos hiilidioksidipäästöt pystytään pienentämään puoleen nykyisestäään, jolloin niiden määrä jää pienemmäksi kuin valtamerien sitoma hiilidioksidimäärä, ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuus alkaa laskea. Tämä on välttämätöntä koska muiden kasvihuonekaasujen kuten freonien ja metaanin pitoisuudet väistämättä tule-

vat kasvamaan, mikä on kompensoitava hiilidioksidipitoisuuden pienentämisellä.

Hiilidioksidipäästöjen määrä ilmaistuna hiilidioksidin sisältäminä hiilimäärinä oli vuonna 1990 7,7 miljardia tonnia, eli 1,5 tonnia jokaista maapallon asukasta kohden. Tästä fossiilisten polttoaineiden osuus oli noin 75 prosenttia ja loput 25 prosenttia syntyi metsien hävittämisen aiheuttamasta biomassan pienemisestä. Keinoja tavoitteen saavuttamiseksi ovat siis fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen ja metsien hävittämisen lopettaminen sekä tehokas metsänhoito ja istutus.

laskeva. Kasvun painopiste siirtyi kivihiileen, maakaasuun ja ydinvoimaan.

Fossiilisten polttoaineiden aiheuttamat hiilipäästöt kasvoivat nopeammin kuin energiankulutus, koska niiden osuus energiantuotannosta lisääntyi. Päästöt kasvoivat 4-kertaiseksi ja kertymä ilmakehään (päästöt vähennettynä valtamerien sitomalla hiilimäärällä) peräti 7-kertaiseksi.

Tilanne siis kärjistyi nopeasti ja kiireisiä muutoksia tarvitaan sen korjaamiseksi. Seuraavassa taulukossa on esitetty skenaario joka toteutuessaan johtaisi tavoitteen saavuttamiseen vuonna 2020.

Taulukko. Primäärienergian kulutus ja hiilipäästöt ja niiden jakautuminen energialähteille.

	Tilanne 1990		Tavoite Skenaario 2020	
	Energia Gtoe	Päästö GtC	Energia Gtoe	Päästö GtC
Öljy	2,94	2,26	1,70	1,31
Hiili	2,53	2,67	1,00	1,05
Kaasu	1,66	1,00	1,50	0,90
Kaasu reformoitu	—	—	1,50	0,10
Ydinvoima	0,48	—	1,60	—
Vesi-, aurinko-, tuuli-	0,56	—	1,20	—
Biomassa (poltto ja metsien hävittäminen)	0,75	1,75	1,50	0
<b>Yhteensä</b>	<b>8,92</b>	<b>7,68</b>	<b>10,00</b>	<b>3,35</b>

Maailman energiankulutus ilmaistuna miljardeina ekvivalentteina öljytonneina (Gtoe) kasvoi 1950—1991 3,5-kertaiseksi:

	Kulutus	Kasvu
	Gtoe/Vuosi	
1950	2,6	
1960	3,8	1,2
1970	6,0	2,2
1980	7,7	1,7
1990	8,9	1,2

Samanaikaisesti kasvoi maapallon väestö vähän yli kaksinkertaiseksi (2,5 miljardista 5,3 miljardiin, joten energian kulutus henkeä kohden kasvoi noin 1,1 ekv öljytonnista 1,7 tonniin eli puolitoistakertaiseksi).

Kasvu oli kiihkeimmillään 1960-luvulla, jolloin öljy saavutti valta-asemansa. Öljykriisin jälkeen kasvu hidastui, ja 1980-luvulla öljyn kulutus oli jo lievästi

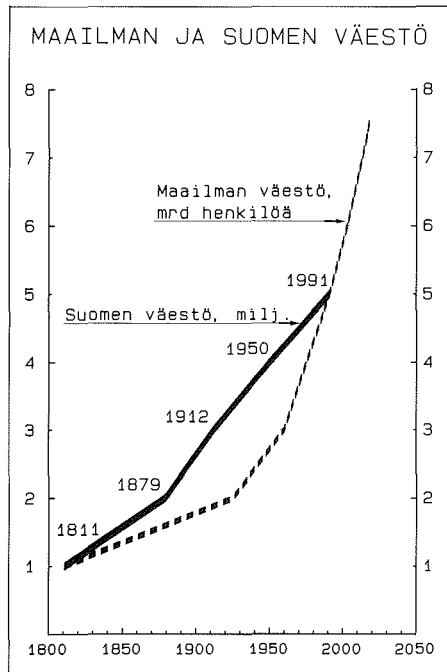
Taulukko. Primäärienergiataseeseen liittyvä sähkötase.

	1990	'2020'
Koko tuotanto TWh	11000	16000
josta		
fossiilista voimaa	7000	5000
vesi- ym voimaa	2000	5000
ydinvoimaa	2000	6000

Skenaario '2020' on laadittu niin että tavoitte hiilipäästöjen puoliintumisesta toteutuu tietyllä varmuusmarginaalilla, mikä on tarpeen valtamerien hiilensitomiskapasiteetin suhteen vallitsevan epävarmuuden vuoksi.

Jotta skenaarion toteutuminen olisi mahdollista on edellytettävä, että

**raakaenergian kokonaiskulutuksen kasvu saadaan pysähtymään tasolle 10 Gtoe/a.** Tämä puolestaan edellyttää, että maailman väestön kasvu saadaan pysähtymään tasolle 7,5 miljardia, mikä lienee mahdollista jos elintaso kehitysmaissa saadaan nousemaan.



Energian tarpeen ja väestön kasvun riippuvuuskien pohdiskeluun ei tässä ole laajemmin mahdollisuuksia, mutta asiaa valaisee osaltaan kuva 'Koko maailman ja Suomen väestönkasvu 1800—2020'. Kuvasta nähdään, että Suomen väkiluku nousi välillä 1800—1990 1 miljoonasta 5 miljoonaan, kun koko maailman väkiluku samaan aikaan nousi 1 miljardista 5 miljardiin. Suomen väkiluku on siis koko kaudella kasvanut suhteellisesti yhtä paljon kuin koko maailman, mutta jakaantuminen on erilainen. Suomen väkiluku kasvoi koko kaudella verrattain tasaisesti noin 20 000 vuodessa kunnes kasvu 1900-luvun lopulla hidastui ja pysähtyi kokonaan. Suhteellinen kasvu on siis elintason noustessa tasaisesti hidastunut. Jos nyt kehitysmaissa saadaan aikaan elintason tasainen kasvu, voidaan toivoa Suomen (ja monien muidenkin teollisuusmaiden) kehityksen toistuvan niissä, jolloin kestävän kehityksen kannalta välttämätön väestön kasvun pysähtyminen saataisiin toteutumaan. Elintason kohoaminen kehitysmaissa edellyttää väistämättä energian tarpeen kasvua niissä, jolloin energian käyttöä on teollisuusmaissa pystyttävä vähentämään. Muutenkin on energiankäyttöä pystyttävä tehostamaan, koska energian kulutus per capita saisi 2020 maailman väestömäärällä 7,5 miljardia olla enää 1,35 toe, kun se vuonna 1990 oli 1,7 toe per capita.

Hyvä keino energian käytön tehostamiseksi on sähköistäminen, koska uusiutuva yhteiskunta pystyy hyödyntämään raaka-energiaa tehokkaammin sähköä. Sentähden kasvava osuus primäärienergiasta ohjautuu sähkön tuotantoon.

**Öljyn kulutus pudotetaan noin 60 prosenttiin nykytasosta**

Tavoitteen toteuttaminen lienee mahdollista, sillä öljyn kulutus on jo pitempään osoittanut laskevaa suuntaa. Öljy on lä-

hinnä liikenteen polttoaine, ja sen kulu- tusta voidaan vähentää uudistamalla kes- tävän kehityksen kannalta vanhanaikainen muskeliautokanta niin, että auton kaupunkikulutus on alle 5 litraa ja huip- punopeus 80...100 km, mikä vallitsevien nopeusrajoitusten puitteissa riittää. Täl- laisella bensiiniautolla olisi suunnilleen sama suorituskyky kuin sähköautolla, mutta paljon pitempi toimintasäde. Säh- köauto olisi saastettomuutensa tähden vallitseva kaupunkiauto. Öljyn kulutusta vähentäisi myös kaupunkien välisen säh- körataliikenteen kehittäminen. Nopeat Inter-City junat pienentäisivät myös lento- ja maantieliikennettä. Kaiken kaik- kiaan öljyn säästö parantaisi myös elä- mänlaatua. Toteuttamisen esteenä ovat ihmisten asenteet ja piintyneet kulutustot- tumukset.

**Kivihiilen kulutus vähennetään 40 prosenttiin**

Tämä tapahtuu korvaamalla teollisuus- maissa kivihiilivoima ydinvoimalla. Kivi- hiilestä riippuvaiset kehitysmaat kuten Kiina ja Intia voisivat jatkaa kivihiilen käyttöä. Kivihiilen korvaaminen on kes- tävän kehityksen kannalta keskeinen asia, koska kivihiili on suurin hiilidioksidin tuottaja ja keskeinen tekijä myös happo- sateissa, joiden vaikutuksesta laajat alu- eet paljon hiiltä käyttävissä maissa ovat pahasti saastuneet. Hiilen vähentämisen esteenä ovat hiilen halpa hinta, hyvä kaupallinen kilpailukyky sekä korvaaviin energiamuotoihin, lähinnä ydin- ja vesi- voimaan kohdistuva vastustus.

**Ydinvoiman tuotanto olisi kolminkertaistettava**

Tarvittava ydinvoimakapasiteetti 7000 tunnin vuotuisella käyttöajalla olisi noin 850 GW (Tämänhetkinen ydinvoimakapa- siteetti on 350 GW). Tällaiseen ohjel- maan on hyvät teknistaloudelliset edelly- tykset. Laitoksilla ajettaisiin sähkönkulu- tuksen pohjakuormaa teollisuusmaissa. Ydinvoiman osuus maailman sähköntuo- tannosta nousisi nykyisestä 17 prosentista 37 prosenttiin. Laitokset olisivat turvalli- suutensa puolesta kansainvälisessä val- vonnassa ja rakennettaisiin parhaimman kulloinkin saatavissa olevan tekniikan mukaan, jolloin Tshernobylin kaltaisilta onnettomuuksilta välttyttäisiin. Ydintek- niikka on vielä kehityskaarensa alkuvai- heessa ja sen kehityspotentiaali on suuri.

**Biomassan (puun) poltto olisi vähintään kaksinkertaistettava**

Samalla metsiä on hoidettava ja istutetta- va niin, että biomassassa lisääntyy. Näin on Suomessa tehty. Sodan jälkeen hakkuut ovat kasvaneet voimakkaasti samalla kun metsien biomassassa on lisääntynyt 20 pro- senttia ja sen kasvu peräti 40 prosenttia.

Kehitysmaissa metsien hävittäminen on saatava loppumaan ja metsien istuttami- nen lisääntymään. Näin voitaisiin bio- massan vähenemisestä aiheutuva hiili- päästö kokonaan eliminoida.

**Vesi-, tuuli- ja aurinkovoiman tuotanto olisi kaksinkertaistettava**

Pääosa maapallon vesivoimavaroista si- jaitsee kehitysmaissa ja on vielä rakenta- matta. Vesivoiman rakentaminen johtaa kuitenkin usein suuriin mullistuksiin luonnossa, minkä vuoksi vesivoimahank- keita on alettu vastustaa. Tuuli- ja aurin- kovoima johtaisivat (primäärienergiälä- teen vähäisestä energiatiheudesta johtuen) vielä paljon valtavampiin rakenteisiin, jos niitä hyödynnettäisiin mittakaavassa, jol- la on merkitystä fossiilisten hiilipäästöjen vähentämisessä. Niiden mahdollisuudet kestävän kehityksen edistämiseksi jääne- vät lähivuosisikymmeninä vähäisiksi.

Edellä esiteltyt päästövapaat energiamuo- dot eivät riitä korvaamaan päästöjen pie- nentämiseksi välttämätöntä öljyn ja hiilen käytön supistamista. Jäljellä oleva osa energiantarpeesta on skenaarion mukaan peitettävä maakaasulla, jonka käyttö kaksinkertaistuisi. Puolet maakaasusta olisi reformoitua, ts. maakaasua josta hiilidioksidi on poistettu. Kaasu olisi käy- tännöllisesti katsoen puhdasta vetyä, jon- ka palamistuloksena on pelkkä vesi. Re- formointi on korkea-asteista lämpöä vaa- tiva prosessi. Sopiva energianlähde on ydinreaktori, jonka energia saadaan tal- teen kun tuotteena oleva vedyn energiasä- ltö on suurempi kuin maakaasun. Toi- sena tuotteena syntyvä hiilidioksidi injek- toidaan maakaasulähteeseen, jonka tuo- tanto täten nousee.

Edellä analysoitu skenario pyrkii anta- maan kuvan siitä minkälaisista toimista kestävän kehityksen turvaamisessa energia- sektorilla on kysymys. Skenaarion on tie- tenkin vain yksi monista mahdollisista, mutta kovin suuri ei liikkumavara voi ol- la. Rajansa sille asettavat toisaalta maa- pallon väestön kasvu ja pyrkimys ihmisen elintason parantamiseen ja toisaalta kestävän kehityksen ehtona oleva päästö- jen vähentäminen. Energian kulutuksessa ja hankinnassa on tehtävä rajuja muu- toksia, joista oleellimmat ovat energian kulutuksen kasvun pysäyttämisen ja kivi- hiilen korvaaminen ydinvoimalla sekä bio- massan kasvun kaikinpuolinen edistämi- nen. Skenaarion mukaan se on tiedollis- ten resurssien ja luonnonvarojen puolesta mahdollista mutta vaatii asenteiden muu- tosta ja tehokasta päätöksentekoa. Tällä hetkellä kehitys kulkee päinvastaiseen suuntaan. Metsiä hävitetään, energian kulutus kasvaa voimakkaasti ja se peite- tään pääasiassa kivihiilellä. Atomiteknilli- sellä Seuralla on ankarat haasteet vastas- sa. □

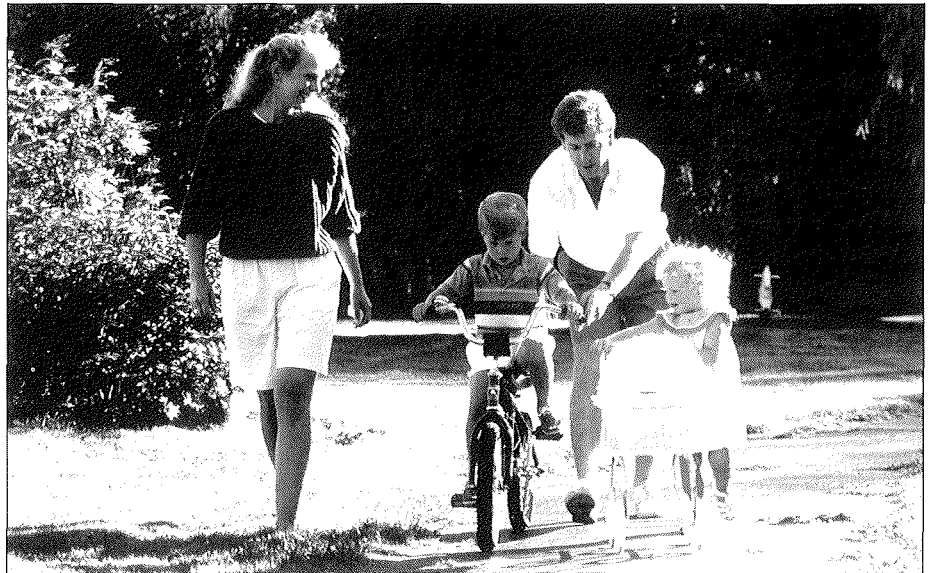
Professori Lasse Nevanlinna toimi Imatran Voima Oy:n kehitysjohtaja- na vuoteen 1989, jolloin hän jäi eläk- keelle. Hän on ATS:n perustajajäsen ja oli Seuran johtokunnassa vuosina 1970-1972. Puh. 90-5050018.





## Onko ydinvoimalla sukupuolta?

*Keskustelu ja päätökset ydinvoimasta perustuvat keskeisesti ihmisten arvoihin ja asenteisiin. Näissä saattaa olla sellaisia eroja sukupuolten välillä, että ydinvoiman voidaan nähdä ensisijaisesti palvelevan vain toisen sukupuolen arvoja ja etuja. Ydinvoiman hyödyntämisellä on kuitenkin laajoja taloudellisia ja muita vaikutuksia yhteiskuntaan, joiden merkisyttä on vaikea kohdistaa tai jakaa eri yhteiskuntaryhmille.*



Lehtikuva Oy

Energia ja maatalouden perustuotanto ovat ihmisen tärkeimmät luonnonvarat. Kehittyneemmässä yhteiskunnassa energialla on keskeinen välillinen merkitys hyvinvoinnille työn, osaamisen, pääoman ja raaka-aineiden ohella. Energian suhteellinen osuus taloudellisessa toiminnassa on ajan mittaan vähentynyt tekniikan kehityksessä, energiantuotannon ja käytön tehostuessa sekä taloudellisten rakenteiden muuttuessa.

Energian kokonaiskulutus on kaikissa hyvinvointivaltioissa jatkuvasti kasvanut. Suomessa kulutuksen kasvu on 80-luvulla merkittävästi hidastunut. Samalla on siirrytty suorasta polttoaineiden käytöstä enenevästi sähkön käyttöön. Sähkön osuus primäärienergian kokonaiskulutuksesta oli 18 % vuonna 1960 ja 45 % vuonna 1990.

Sähkön osuus on lisääntynyt kaikilla kulutussektoreilla. 1980-luvulla ovat nopeimmin kasvaneet sähkölämmityksen ja palvelusektorin sähkön käytön osuudet. Kehityksen taustalla on monia syitä. Öljykriisin jälkeen pyrittiin määrätietoisesti vähentämään öljyn käyttöä, jolloin sähkö usein soveltui korvaavaksi energiamuodoksi. Sähkön käyttö on joustavaa, helposti säädeltävää ja loppukäyttäjälle vaivatonta ja siistää.

Palvelusektorissa ja kotitalouksissa on sähkölaitteiden määrä lisääntynyt parina viime vuosikymmenenä voimakkaasti. Kotitalouksien osalta on asialla selvä yhteys yleiseen tulotason nousuun ja vähintäänkin epäsuorasti myös naisten työelä-

mään osallistumiseen ja muuhun perheen jäsenten roolimutokseen.

Teollisuudessaakin polttoaineiden käyttö ja myös energian kokonaiskäyttö suhteessa jalostusarvoon on vähentynyt. Sähkön käyttö on vastaavasti kasvanut, mutta selvästi vähemmän kuin muilla kulutussektoreilla.

Sähkön käyttö on jatkuvasti tehostunut sekä tuotanto että käyttövaiheessa tekniikan kehittyessä. Edelleen voidaan lisätä tehokkuutta ja varsinaista säästöä. Useimmissa teollisuusmaissa säästötoimenpiteet ovatkin nousseet energiapolitiikan keskeiseksi tekijäksi.

Kauppa- ja teollisuusministeriön äskettäin valmistuneessa energiansäästöprojektissa on arvioitu mm. korkeimpia mahdollisia säästöpotentiaaleja. Lähtökohtina on pidetty, että käytetään parasta nykYTEKNIikkaa ilman taloudellisuusvaatimuksia, luovutaan turhasta kulutuksesta ja muutetaan kulustottumuksia energiaa säästävään suuntaan. Sähköä arvioidaan voitavan säästää näillä ehdoilla metsäteollisuudessa 9 % nykyisestä käytöstä, talojen lämmityksessä 20 %, palveluissa 40 % ja kotitalouksissa 47 %. Yhteensä säästöä syntyisi koko kansantaloudessa 21 %. Tämä tosin edellyttäisi noin 120 mrd markan lisäinvestointeja, eli esimerkiksi 10 vuoden aikana 12 mrd mk vuodessa.

Käytännössä niin merkittävä sähkönkulutuksen vähentäminen, että uutta voimalaitoskapasiteettia ei tarvitsisi rakentaa, merkitsisi yhtenä vaihtoehtona kotita-

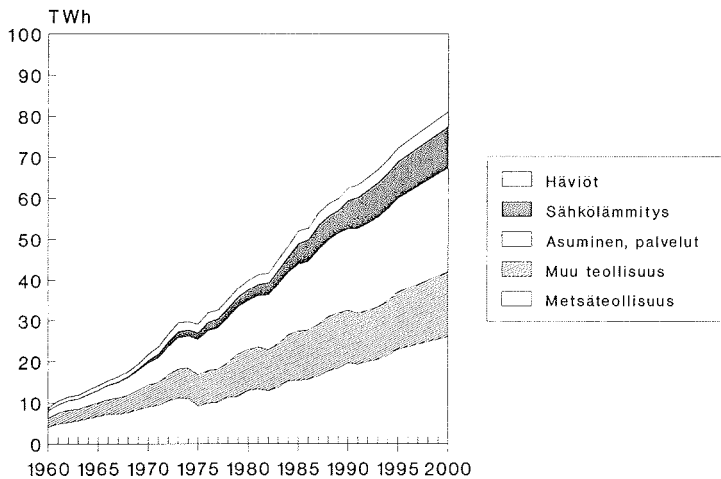
louksien ja palvelujen merkittävää kulutus- ja toimintatottumusten muutosta, jopa elintason laskuksi koettavaa. Toinen vaihtoehto olisi metsä- ja muun perusteellisuuden tuotannon vähentäminen. Koska kyseistä tuotantoa ei ainakaan lyhyellä aikavälillä voida muulla korvata, johtaisi tämäkin ratkaisu vääjäämättä elintason laskuun.

Monet ihmiset ovat — ainakin sitä kysytessä — valmiita tinkimään jonkin verran elintasostaan ympäristön suojelemiseksi. Taloudellisesta kasvusta luopuminen on kuitenkin monitahoisempi ja vaikeampi kysymys.

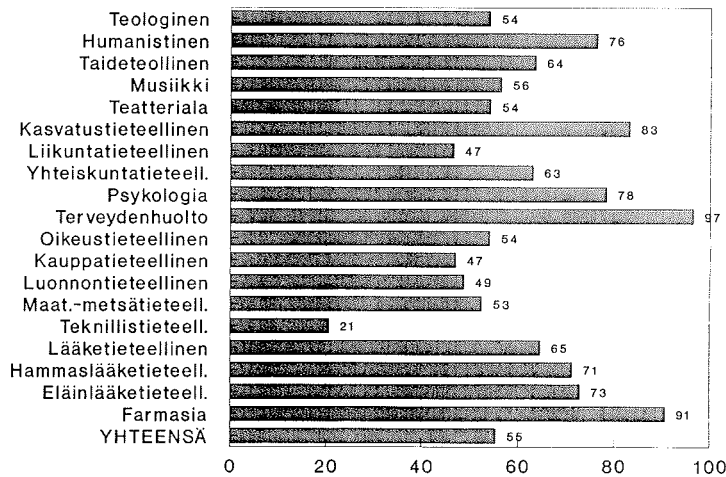
Ympäristön ja kehityksen maailmankomission raportissa ”Yhteinen tulevaisuutemme”, jonka tekemistä johti Norjan nykyinen pääministeri Gro Harlem Brundtland, esitellään käsite kestävä kehitys. Tämä tarkoittaa tilannetta, jossa kyetään täyttämään ihmiskunnan nykyiset tarpeet vaarantamatta tulevien sukupolvien mahdollisuuksia omien tarpeidensa täyttämiseen. Raportin mukaan taloudellinen kasvu ei ole ristiriidassa kestävä kehityksen periaatteen kanssa, vaan päinvastoin — taloudellista kasvua tarvitaan, jotta periaate toteutuisi.

Jos Suomessa halutaan ylläpitää taloudellista kasvua on — kaikista järkevästi toteutettavista säästötoimista huolimatta — sähkön tuotantokapasiteettia lisättävä. Erityisesti on tarpeen lisätä jatkuvasti toimivaa perusvoimakapasiteettia. Toimintaedellytysten, taloudellisuuden ja ympäristön vaatimukset mahdollisimman pitkälle huomioon ottaen jää vaihtoehtoiksi

Sähkön kulutuksen kehitys 1960–1990 ja kulutusennuste vuoteen 2000



NAISTEN OSUUS KORKEAKOULUIHIN HYVÄKSYTYISTÄ OPISKELIJOISTA 1990



hiili- tai ydinvoima. Vesivoimavaramme ovat merkittävimmiltä osiltaan jo hyödynnetyt tai suojatut, maakaasu voinee suuremmissa mitassa tulla kysymykseen vasta ensi vuosikymmenellä taloudellisista ja poliittisistakin syistä, eikä sähkön tuontia ole mm. huoltovarmuussyistä järkevää nykyisestä lisätä.

Valinnassa hiilivoiman ja ydinvoiman välillä ovat pääkysymyksiä ympäristövaikutukset ja onnettomuusriskit, joita on keskenään vaikea rationaalisesti verrata. Hiilivoima on ilmakehän ja kasvihuoneilmiön kannalta ongelmallinen hiilidioksidipäästöjensä vuoksi, joille ei ainakaan vielä voida mitään. Ydinvoimalla ei juurikaan ole välittömiä ympäristövaikutuksia, mutta potentiaalisena riskinä pidetään suuronnettomuuden mahdollisuutta ja käytetyn polttoaineen varastointia.

Ydinvoiman hyödyntämiseen liittyy kaksi peruskysymystä — suhtautuminen taloudellisen kasvun tarpeellisuuteen sekä eri sähköntuotantovaihtoehtojen haittojen ja riskien hyväksyttävyyden ja preferointi — joihin kannanmuodostus perustuu keskei-

sesti ihmisten arvoihin ja asenteisiin. Vastauksissa näihin kysymyksiin saattaa olla sellaisia eroja sukupuolten välillä, että jotkut voivat nähdä ydinvoiman palvelevan ensisijaisesti toisen sukupuolen arvoja ja etuja.

Suomessa ja muissa teollisuusmaissa tehtyjen mielipidetiedustelujen ja tutkimusten mukaan näyttää yleensä siltä, että naiset ovat miehiä jonkin verran halukkaampia luopumaan jostakin tai aktiivisesti tekemään jotakin ympäristön kuormituksen ja muutosten vähentämiseksi. Tästä tietyistä toimenpidehalusta huolimatta on, pyrkimättä tässä asian perusteellisempaan analyysiin, kuitenkin verrattoman paljon yleisempää, että niin naiset kuin miehet toivovat materiaalsen hyvinvointinsa ja myös taloudellista liikkumavaraa edellyttävän henkisen hyvinvointinsa lisääntyvän. Herää myös kysymys, miten kehitysmaiden naiset suhtautuisivat ajatukseen taloudellisen kasvun pysäyttämisestä tai edes hidastamisesta?

Näkemyksissä eri sähköntuotantovaihtoehtojen ympäristövaikutuksista ja ris-

keistä vaikuttaa olevan selvemmin eroja sukupuolten välillä. Naiset ja nuoret vaikuttavat yleensä suhtautuvan vakavammin ja huolestuneemmin ympäristöpäästöihin ja muutoksiin kuin muut. Naiset vastustavat myös miehiä yleisemmin ydinvoiman lisärakentamista Suomessa. Näkemykset eivät kuitenkaan jakaudu täysin sukupuolten kesken — on merkittävän paljon naisia, jotka kannattavat ydinvoiman rakentamista, ja miehiä, jotka sitä vastustavat.

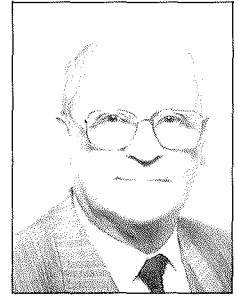
Suhtautuminen ydinvoimaan energialähteenä Suomen oloissa toukokuussa 1991, %.

	Naiset	Miehet	Kaikki
Kielteiset	46	27	37
Neutraalit	31	27	29
Myönteiset	20	45	32
Ei osaa sanoa	3	1	2

Näissä näkemyseroissa saattaa heijastua se perusero, joka melko yleisesti katsotaan sukupuolten välillä vallitsevan. Arvojen eroja — mistä ne sitten johtuvatkaan — heijastaa esimerkiksi erilainen hakeutuminen eri opintoaloille. Miesten katsotaan keskittyvän produktioon, elämisen edellytysten hoitamiseen ja parantamiseen, ja naisten reproduktioon, elämän turvaamiseen ja jatkamiseen. Ehkä tästä syystä näyttää siltä, että naiset tavallisemmin kantavat huolta huomisesta ja myös tulevista sukupolvista. Jotkut myös väittävät, että miehet toimivat rationaalisemmin, enemmän järkeen ja niisanottuihin tosiasioihin perustuen, kun taas naisilla tunteet ja intuitio merkittävämmän kuin miehillä vaikuttavat toimintaan. Ehkä tästä naisilla seuraava tietty kriittisyys ns. tosiasioita kohtaan ja mahdollisesti myös huolestuneisuuden ja pelkojen esille tulo alitajunnasta.

Arvomaailmassamme ydinvoima näyttää olevan maskuliininen, vastaavan suuremmin miehiä arvoja ja etuja kuin naisellisia. Käytännössä ydinvoima merkitsee kuitenkin samaa kummallekin sukupuolelle. Sitä ei rakenneta ainoastaan keskeisille paperitehtaiden miehille, vaan myös toimistotyötä tekeville, perheen kotitaloudesta huolehtivalle äidille. Suomen kaltaisessa, suhteellisen tasa-arvoisessa yhteiskunnassa tehokkaan energiahuollon tuomat taloudelliset edut jakautuvat myös periaatteessa melko tasan sukupuolten välillä. Eikä ainakaan taloudellisen kasvun pysähtyminen edesautaa nyt vielä heikommassa taloudellisessa asemassa olevien, useimmiten naisten aseman kehitysmahdollisuuksia. Myös mahdolliset epäedut tuskin kohdistuisivat naisiin miehiä vakavammin, puhdasta satunnaisuutta lukuunottamatta.

DI Ulla Sirkeinen on teollisuuspolitiikasta vastaava johtaja Teollisuuden Keskusliitossa. Puh. 90-1809220.



# Ydinvoimalla keskeinen asema maailman sähköhuollossa

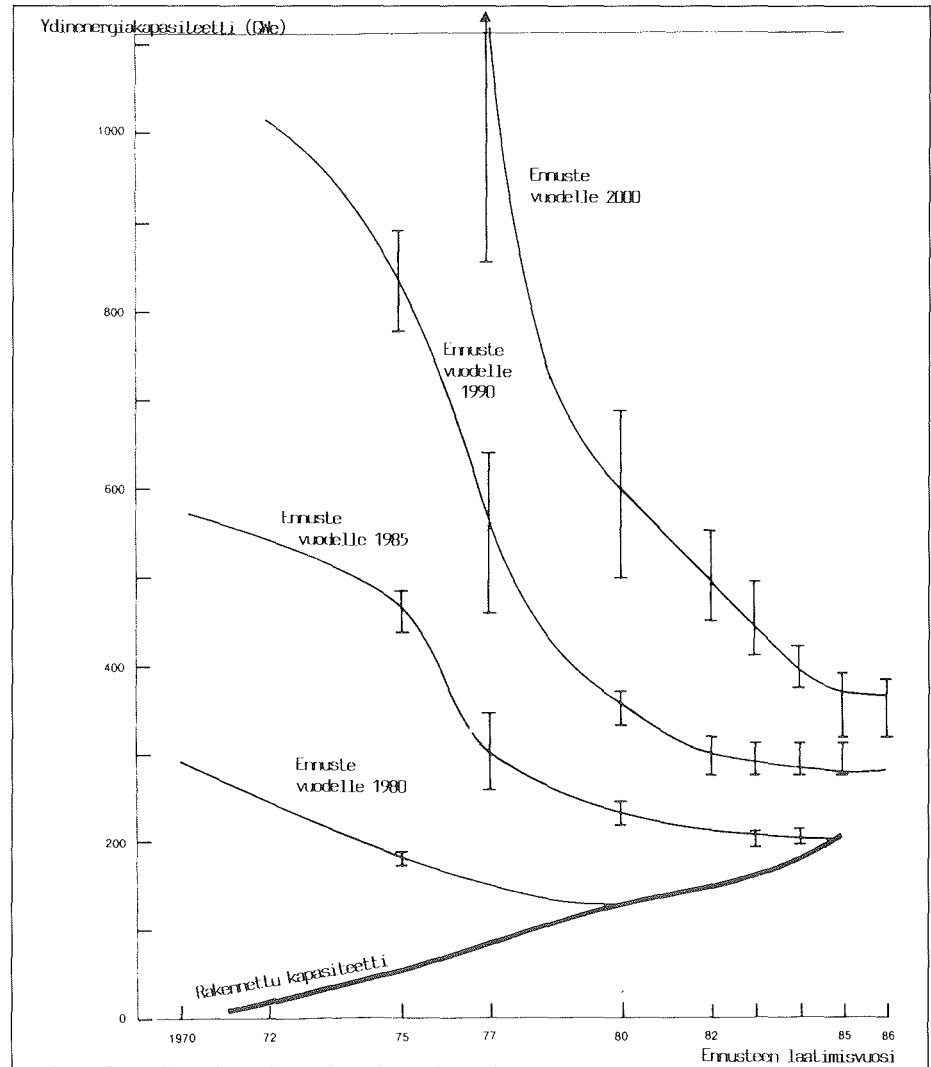
**Ydinvoiman osuus maailman sähköntuotannosta oli vuonna 1990 noin 17 %. Suurin osuus oli Ranskan 75 %. Suomi sijoittui 29 % osuudellaan kymmenenneksi. Maailman ydinvoimakapasiteetti on jatkuvasti kasvanut. Vuonna 1990 lisäystä tuli 7600 MWe. Kokonaiskapasiteetti on 326 GWe (423 yksikköä) ja rakenteilla on 66 GWe (83 yksikköä). Vaikka ydinvoiman jatkorakentaminen on hidastunut, arvioidaan sen vuoteen 2020 mennessä edelleen kasvavan 2...3-kertaiseksi.**

Energiansaannissa parin viime vuosikymmenen aikana tapahtuneet heilahtelut ovat teollistuneissa maissa johtaneet energiahuollon hajauttamiseen useampiin energialähteisiin. Tähän ovat vaikuttaneet paitsi energiahuollon varmistamiseen liittyvät syyt myös ympäristölliset tekijät. Maailmalla käydäänkin keskustelua siitä, mikä olisi sopiva energiakorin sisältö.

Ns. kovaan teknologiaan kielteisesti suhtautuvat liike ja myöhemmin sattunut Tshernobylin onnettomuus vaikutti voimakkaasti siihen, että ydinenergian osuus sähköenergian tuotannossa ei kehittynyt niin voimakkaasti kuin aikaisemmin — osin myös taloudellisiin ja ympäristöperusteisiin — ennustettiin.

Euroopan talousyhteisön maissa ydinenergian osuus sähköenergian tuotannosta on edelleen kuitenkin n. 35 %:n suuruusluokkaa. Se on edelleen myös alueen suurin yksittäinen energialähde, joskin hiilen osuus on varsin lähellä samaa. Ranskan ydinenergiatuotanto on tässä luonnollisesti määräävä. On myös merkillepantavaa, että Ranska vie myös ydinsähköänsä huomattavia määriä naapurimaihinsa.

Kehitys Itä-Euroopan valtioissa ja Neuvostoliitossa on johtanut useiden ydinvoimayksiköiden sulkemiseen turvallisuussyistä samalla kun myös yleisreaktiot ydinvoimaa vastaan ovat päässeet esiin — paikoin varsin rajuinakin. Energiahuoltotilanne on näissä maissa paikoin varsin vaikeakin, koska sähköenergian tarve ei salli ydinvoimayksiköiden sulkeamista siinä laajuudessa kuin kohtuullisetkin turvallisuusvaatimukset edellyttäisivät.

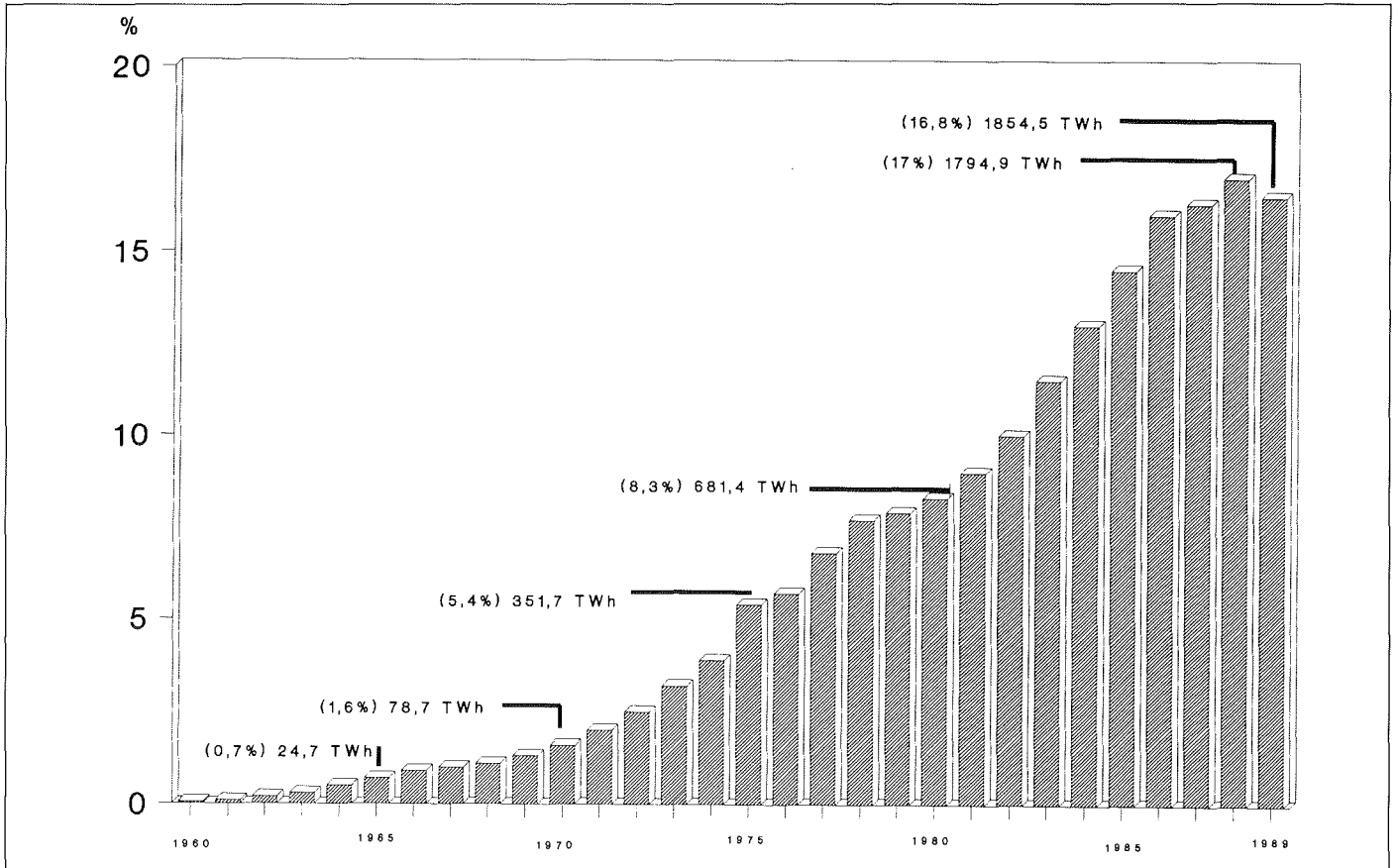


Energian, erityisesti öljyn, hintavaihtelut ovat yhdessä ympäristötekijöiden kanssa vaikuttaneet myös yleisiin energian kutsennusteisiin. Yhdessä energiankäytön tehostamiseen tähtäävien toimenpiteiden kanssa energiankulutuksen kasvu on ollut hitaampaa kuin mitä aikaisemmin oletettiin. Elintason yleinen nousu ja teknologian kehittyminen ja monipuolistuminen ovat tosin siirtäneet energiankulutusta sähköön uusista energiamuodoista siten, että sähköenergian kulutus on jatkuvasti noussut vaikka kokonaisenergiankulutus joissakin maissa olisi jopa laskenutkin. Ydinenergian kasvua on hidastanut ennustetuista arvioista paitsi kokonaiskasvun hidastuminen myös edellä jo mainittu voimistunut kriittinen suhtautuminen tähän energiamuotoon.

Kuvassa 1 on esitetty OECD:n piirissä

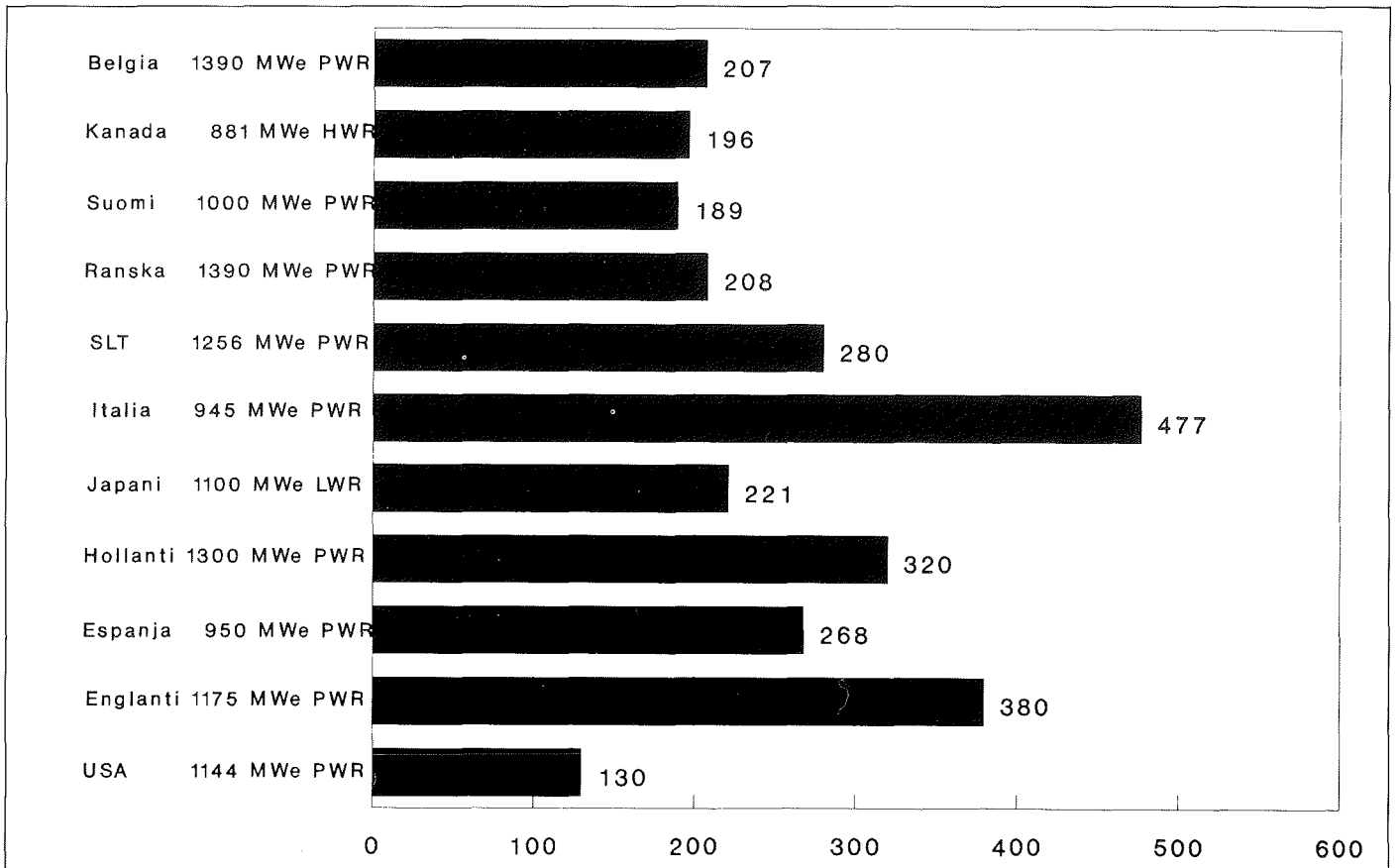
*Kuva 1. Ydinenergiatarpeen kehitysennusteiden kehittyminen OECD-maissa 1970- ja 1980-luvulla. Lähde: Nuclear energy and its fuel cycle, OECD 1987.*

laadittu ydinenergian käyttöennusteiden kehittymistä esittävä kuva. Jälkikäteen voidaan todeta, että jotkut ennusteet olivat selvästikin varsin ylitseampuvia, joskaan niitä tehtäessä ei osattu laskea yleisen ydinenergiavastustuksen vaikutuksia. Siitä ilmenee myös kuinka voimakkaasti jo ennen Tshernobylin onnettomuutta arvioita ydinenergian käyttömahdollisuuksista jouduttiin laskemaan vuodesta toiseen. Todelliset luvut ovat olleet vain murto-osia jopa vain kymmenisen vuotta aikaisemmin tehdyistä ennusteista. Suomessa kehitys on noudattanut samantapaista kulkua.



Kuva 2. Ydinenergian suhteellinen osuus maailman sähköntuotannosta. Lähde: IAEA/PRIS.

Kuva 3. Käytöstäpoistokustannukset eri OECD-maissa suurehkoa ydinvoimayksikköä kohti, milj. S. Lähde: OECD.



Päinvastoin kuin esim. sanomalehtiä seuraamalla luulisi, on ydinenergiakapasiteetti myös viime vuosina jatkuvasti lisääntynyt. Lukumääräisesti ovat laitosyksiköt tosin aika ajoin jopa vähentyneet, mutta laitospöytäkirjojen kasvu on johtanut kokonaiskapasiteetin jatkuvaan lisääntymiseen.

Taulukko. OECD:n ydinenergiajärjestön, NEA:n, (Nuclear Energy Agency) laatima luettelo maailman ydinvoimalaitoksista.

	Käynnissä		Rakenteilla	
	Yksiköt	Yht. MWe	Yksiköt	Yht. MWe
Argentiina	2	935	1	692
Belgia	7	5 500		
Brasilia	1	626	1	1 245
Bulgaria	5	2 585	2	1 906
Kanada	20	13 993	2	1 762
Kiina			3	2 148
Kuuba			2	816
Tšekkoslovakia	8	3 264	6	3 336
Suomi	4	2 310		
Ranska	56	55 778	6	8 305
Saksa	26	24 430	6	3 319
Unkari	4	1 645		
Intia	7	1 374	7	1 540
Iran			2	2 392
Japani	41	30 917	10	9 012
Etelä-Korea	9	7 220	2	1 900
Meksiko	1	654	1	654
Hollanti	2	508		
Pakistan	1	125		
Romania			5	3 125
Etelä-Afrikka	2	1 842		
Espanja	9	7 067		
Ruotsi	12	9 817		
Sveitsi	5	2 952		
Englanti	37	11 506	1	1 188
USA	112	100 630	1	1 165
Neuvostoliitto	45	34 673	25	21 255
Jugoslavia	1	632		
<b>Yhteensä</b>	<b>423</b>	<b>325 873</b>	<b>83</b>	<b>65 760</b>

Vuonna 1989 liitettiin verkkoon yhteensä 12 uutta ydinvoimalaitosyksikköä (DDR, SLT, Intia, Japani, Korean Tasavalta, Meksiko, Englanti, USA ja Neuvostoliitto). Vuonna 1990 lisäysten lukumäärä oli 7 (Kanada 2, Ranska 1, Japani 2 ja USA 2). Kun verkosta poistettiin lähinnä Itä-Euroopan maissa (Bulgaria 1, "DDR" 4, Neuvostoliitto 10, Italia 2, Espanja 1, Englanti 2) yhteensä 20 yksikköä jäi kokonaisvähennykseksi 13 yksikköä, kokonaiskapasiteetti kasvoi tästä huolimatta IAEA:n (International Atomic Energy Agency) tilastojen mukaan kuitenkin n. 7 600 MWe. Ilmeisesti vuonna 1990 ei aloitettu yhtään uutta voimalaitosprojektiä, vaikka edellisenä oli aloitettu 5:n yksikön hankinta (Japani 2, Korean Tasavalta 2 ja Neuvostoliitto 1). Vuonna 1986 ja sen jälkeen on yksiköitä liitetty verkkoon ja verkosta poistettu seuraavasti:

	Lisätty	Poistettu
1986	23	3
1987	22	0
1988	14	10
1989	12	2
1990	7	20

Tarkasteltaessa ydinenergian osuutta maailman sähköenergiatuotannossa saamme kuvan 2 mukaisen diagrammin. Vuosina 1970—1980 kasvu oli n. 24 % vuodessa, mutta se putosi jo seuraavana vuosikymmenenä 7,2 %:iin. Vuonna 1990 ydinenergian osuus lienee ollut n. 17 %. Sen mukaan ydinenergian suhteellisen osuuden kasvu olisi pysähtynyt. Vertailun vuoksi voidaan todeta Suomessa luvun olevan n. 29 %.

Uraanin riittävyys on ollut jatkuvasti keskustelunaiheena. Uraanin tarve tulisi OECD/NEA:n laskelmien mukaan kasvamaan n. 42 000 t/a:sta vuonna 1990 n. 53 000 t/a:iin vuonna 2005. Ns. WO-LA-alueella (World outside centrally planned economics area) näyttävät varat jäävän alle 80 \$/kgU hintaluokassa n. 10 000 t/a alle tarpeen. On kuitenkin esitetty toisaalta, että varat tulevat nousemaan, että suuriakin varastoja on vielä ja että Kiina ja Neuvostoliitto pystyvät peittämään tarpeen ilman, että hinnannousua tulisi juurikaan esiintymään. Äkillisempi kysynnän kasvu voi kuitenkin johtaa hintaheilahduksiin kuten tapahtui 1970-luvulla. Uraanin hinnan vaikutus energian hintaan on kuitenkin varsin vähäinen ja äkillisiä vaihteluja tasaa myös polttoaineen valmistusprosessin vaatima aika.

Vuonna 1988 tehtiin OECD:n piirissä selvitys ydinvoimalaitosten käytöstäpoiston kustannuksista. Menetelmien erilaisuudesta, reaktorityypeistä ym. johtuen kustannushajonta oli melkoinen. Oma mielenkiintonsa on kuitenkin yhteenvedotaulukon luvuilla. Suomi sijoittuu runsaaseen keskisarjaan (kuva 3).

Kaiken edellä olevan valossa on varsin ymmärrettävää, että maailmalla tunnetaan varsin suurta mielenkiintoa Suomen viidettä ydinvoimalaitosyksikköhanketta kohtaan. Puuttumatta tässä lähemmin hankkeeseen on kuitenkin todettava, että sähköenergian kulutus kasvaa maassamme jatkuvasti siten, että toisistaan poikkeavienkin ennusteiden mukaan lisäkapasiteetin tarve perusvoiman osalta jo vuosituhannen vaihtuessa on 2 000 MW:n suuruusluokkaa. Ruotsin mahdollisuudet toimittaa meille sähköenergiaa lakannevat Ruotsin omien tarpeiden vuoksi 1990-luvun puolivälissä. Emme myöskään voi laskea enää Neuvostoliiton tuonnin varaan. On myös otettava huomioon, että tuonti saattaa häiriintyä jo aikaisemminkin Neuvostoliiton sisäisen kehityksen vuoksi. Vaihtoehtoina on vain kivihiihi ja ydinenergia. □

Teollisuusneuvos Ilkka Mäkipentti on kauppa- ja teollisuusministeriön ydinenergiatoimiston päällikkö. Hän on ATS:n perustajajäsen ja oli Seuran johtokunnassa vuosina 1966—1967. Puh. 90-1605235.



# Ydinvoimalapäätös osana kansanvaltaa



*Uusi ydinenergialaki (990/87) korotti huomattavasti ydinvoimalan rakentamista koskevan päätöksenteon tasoa ja muutti menettelytapoja kansanvaltaisemmiksi. Ydinlaitoksen rakentamisluvan myöntää nykyisin valtioneuvosto ja sen tekemä periaatepäätös yleiseltä merkitykseltään huomattavan ydinlaitoksen rakentamisesta on annettava eduskunnan tarkastettavaksi. Kansanvaltaisuutta on lisätty siten, että ydinlaitoksen sijaintikunnalla ja naapurikunnilla samoin kuin laitoksen lähiympäristön asukkailla on mahdollisuus vaikuttaa ydinlaitoksen rakentamispäätökseen.*

Vuonna 1958 voimaan tullessa atomienergiainlaissa (356/57) ydinenergian käyttö säädettiin luvanvaraiseksi. Luvan myöntäminen edellytti, että laitos oli yleisen edun mukainen ja että hakijalla oli käytettävissään tarpeellinen asiantuntemus. Luvansaajana tuli kysymykseen, eräin poikkeuksin, vain Suomen kansalainen tai kotimainen yhteisö. Lupa oli liitettävä ne ehdot, jotka olivat tarpeen turvallisuuden varmistamiseksi tai muutoin yleisen edun kannalta.

Lupaviranomainen oli kauppa- ja teollisuusministeriö ja lupapäätösten valmistelu noudatti pääasiassa normaaleja hallintopäätöksen valmisteluun liittyviä menettelytapoja ilman erityisiä kansanvaltaan liittyviä piirteitä. Käytännössä päätöksenteko keskeisissä ydinenergia-asioissa oli kuitenkin jo 1970-luvulla siirretty valtioneuvostolle, minkä lisäksi asiat valmistavasti käsiteltiin energiapolitiikan neuvostossa, jonka kokoonpano oli määrätty eduskunnan kulloisetkin voimasuhteet huomioonottaen.

Atomienergiain säätämisen aikoihin ydinenergiaan suhtauduttiin myönteisesti ja sen avulla katsottiin voitavan ratkaista energian riittävyyteen ja taloudellisuuteen liittyvät ongelmat.

Mielipiteet muuttuivat kuitenkin pian. Jo 1970 luvulla ydinenergian käyttöä vastustettiin voimakkaasti monissa kehittyneissä teollisuusmaissa. Tämä kehitys oli tausta-

na sille, että KTM asetti 1978 toimikunnan, jonka tehtäväksi annettiin laatia ehdotus muutoinkin jo vanhentuneen atomienergiainsäädännön kokonaisuudistuksesta. Toimikunnassa, jonka puheenjohtajana toimin yleisiä periaatteita ja lupamenettelyä koskevaa I osamietintöä valmisteltaessa, olivat eri viranomaistahojen lisäksi edustettuina mm. tekninen asiantuntemus, ydinenergian tuottajat ja ympäristönsuojelu.

## Päätöksenteko ydinenergiain mukaan

Toimikunnan mietintöä valmisteltaessa keskeisiä ja vaikeita kysymyksiä olivat: mikä on lupaviranomainen, onko eduskunnan myötävaikutus tarpeen ja miten se järjestetään sekä kuntien, erityisesti sijoituskunnan, ja kansalaisten osallistuminen päätöksentekoon. Eduskunta hyväksyi toimikunnan ehdotukset näiltä osin sittemmin jokseenkin muuttamattomina.

Lupaviranomaisen osalta toimikunta päätyi jo aikaisemmin tosiasiallisesti noudatettuun ratkaisuun: luvan ydinlaitoksen rakentamiseen ja käyttämiseen myöntää valtioneuvosto, kun taas muut ydinenergian käyttöön liittyvät luvat myöntää KTM. Toimikunnassa esitettiin myös, että rakentamisesta tulisi päättää hankekohtaisella erityislailalla. Kantaa perusteltiin sillä, että ratkaisuvälillä tässä tärkeäs-

sä asiassa kuuluu kansanedustuslaitokselle eikä hallintoviranomaisille. Ydinenergiapäätökset, niiden merkittäväydestä huolimatta, ovat kuitenkin hallintopäätöksiä, jotka Suomen järjestelmän mukaan kuuluvat hallintoviranomaisille eivätkä lainsäätäjälle, eduskunnalle.

Ydinenergiainlaissa ei siten haluttu tehdä poikkeusta valtiovallan kolmijakoon antamalla hallintoasian ratkaiseminen lainsäätäjän tehtäväksi. Eduskunnan kytkemistä tavalla tai toisella päätöksentekoon ydinenergia-asioissa pidettiin kuitenkin tärkeänä huomioon ottaen toisaalta ydinenergian käyttöön eri kansalaistahoilla kohdistettu voimakas kritiikki ja toisaalta ydinlaitoksen rakentamisen yhteiskuntapoliittinen ja kansantaloudellinen merkitys. Näistä syistä eduskunnan perustuslakivaliokunta pitikin ydinenergiainlaissa koskevassa lausunnossaan (17/1985) ”välttämättömänä, että eduskunta osallistuu ydinlaitoksen rakentamista koskevan päätöksen tekemiseen”.

Ratkaisu ongelmaan oli se, että ennen varsinaisen lupahakemuksen ratkaisemista valtioneuvoston tulee lain mukaan tehdä periaatepäätös siitä, että ydinlaitoksen rakentaminen on yhteiskunnan kokonaisedun mukaista (ydinenergiainlaissa, YEL 11). Tämä periaatepäätös tulee antaa eduskunnan tarkastettavaksi. Valtioneuvoston periaatepäätös oli uutuus, jota ei tietääkseni ole muussa lainsäädännössä käytetty. Sen sijaan on jo aikaisemminkin mm. eräissä valtuuslaissa säädetty asetuksen tai muun säädöksen lähettämistä eduskunnan tarkastettavaksi.

Periaatepäätös on saatava ennen kuin ydinlaitoshanketta ryhdytään tosiasiallisesti toteuttamaan. Laissa (YEL 152 §) on nimenomaan kielletty sellaisiin asetuksella määrättäviin toimenpiteisiin ryhtyminen, jotka taloudellisen merkityksensä vuoksi saattavat vaikeuttaa eduskunnan ja valtioneuvoston mahdollisuuksia ratkaista asia vapaan harkintansa mukaan. Missä vaiheessa periaatepäätöstä on haettava, voidaan ratkaista vain yksittäistapauksittain. Esimerkiksi tarjouskilpailun järjestämisen voidaan yleensä katsoa kuuluvan hankkeen tosiasialliseen toteuttamiseen.

## Yhteiskunnan kokonaiset

Myös käsite yhteiskunnan kokonaiset on uusi. Lainsäädännössä, mm. pakkolunastus- ja atomienergiainlaissa, on käytetty käsitettä julkinen etu, jonka vastakohtana on yksityinen etu. Kysymyksen

**Miksi juuri ydinvoimaa?**

Yleispiirteinen selvitys Loviisan tai Oulkkiluodon voimalaitoksen laajentamisesta

IMATRAN VOIMA OY      TEOLLISUUDEN VOIMA OY

Ydinenergiain mukainen yleispiirteinen selvitys meneillään olevasta ydinvoimalaitoshankkeesta.

siitä, täyttääkö jokin hallintopäätös julkisen edun vaatimuksen, on oikeuskäytännössä katsottu olevan ns. laillisuuskysymys, jonka ratkaiseminen perimmältään kuuluu tuomioistuimelle (KHO). Käsitteen yhteiskunnan kokonaisuuden käyttöönottamisella on haluttu korostaa sitä, että kysymys ei ole laillisuusharkinnalla, vaan tarkoituksenmukaisuusharkinnalla ratkaistavasta asiasta, joka siis kuuluu hallintoviranomaiselle. Vastakohtalla julkinen etu — yksityinen etu ei myöskään ole ratkaisevaa merkitystä, vaan tarkoituksena on antaa päätöksentekijälle mahdollisuus tarkastella asiaa mahdollisimman monista näkökulmista. Yhteiskunnan kokonaisuuden ratkaistaan tarkoituksenmukaisuusharkinnalla, jossa on otettava huomioon kaikki ydinlaitoksen rakentamisesta aiheutuvat hyödyt ja haitat.

Ydinenergialaissa tämä ilmaistaan vaatimuksena, että ”ydinenergian käytön tulee olla, sen eri vaikutukset huomioon ottaen, yhteiskunnan kokonaisedun mukaista” (YEL 5§).

Laissa (YEL 14§) on erikseen lueteltu eräitä yhteiskunnan kokonaisedun harkinnassa huomioon otettavia seikkoja, mutta luettelo ei ole tyhjentävä. Luettelo merkitsee kuitenkin sitä, että hakijan tulee kaikissa tapauksissa esittää selvitys hankkeen tarpeellisuudesta maan energiahuollon kannalta, laitoksen sijaintipaikan sopivuudesta ja laitoksen ympäristövaikutuksista sekä siitä, miten ydinpolttoaine- ja ydinjätehuolto on tarkoitettu järjestää. Hakijan tulee tietyksi esittää selvitys, ainakin KTM:n niin vaatiessa, myös muitakin ydinlaitoksen aiheuttamista hyödyistä ja haitoista.

Yhteiskunnan kokonaisedun ratkaisemista varten tarvittavien selvitysten taso voidaan määrittellä vain yksittäistapauksittain. Periaatepäätöksen luonteeseen kuuluu, että hakija tavallisesti joutuneen esittämään useita vaihtoehtoisia ydinlaitosratkaisuja tai sijoituspaikkoja taikka useita tapoja ydinpolttoainehuollon- ja ydinjätehuollon järjestämiseksi. Periaatepäätöksessä ratkaistaan esitettyjen vaihtoehtojen hyväksyttävyyden ja se muodostaa siten puitteet rakennettavan laitoksen tarkemmalle määrittelylle ja rakentamislupalle. Tällaisissa tapauksissa selvityksiä ei ilmeisesti ainakaan kaikilta osin voida vaatia kovin yksityiskohtaisina, esimerkiksi jotain laitosyyppiä koskevana, vaan joudutaan tyytymään esimerkiksi ydinlaitos- tai ydinjätehuoltotekniikan yleisen tason selvittämiseen.

Mahdollista on myös, että periaatepäätöstä haetaan vain määrättyä ydinlaitosta tai muutamia ydinlaitostyyppiä silmällä pitäen eikä muita vaihtoehtoja esitetä. Tällöin voidaan yhteiskunnan kokonaisedun harkitsemiseen vaikuttavista seikoista vaatia hyvinkin tarkkoja selvityksiä.

### Kuntien ja kansalaisten myötävaikutus

Periaatepäätöksen valmisteluun sisältyy eräitä uusia, kansanvaltaisuutta ja kunnallista itsemääräämisoikeutta korostavia piirteitä. Periaatepäätös edellyttää, että ydinlaitoksen sijaintikunta puoltaa laitoksen rakentamista (YEL 14§). Sijaintikunnan kielteinen kanta estää siten ydinlaitoksen rakentamisen. Myös naapurikuntia on kuultava asiasta, mutta niiden kanta ei voi estää myönteistä periaatepäätöstä.

Ydinenergialain eräs uutuus on myös ns. yleinen kuuleminen (YEL 13§). Vastaväinlaisiä menettelytapoja on käytössä mm. Yhdysvalloissa, Englannissa, Hollannissa, Ruotsissa, Saksassa ja Ranskassa. Kuuleminen edellyttää asianmukaisia tietoja laitoshankkeesta. Lain mukaan hakijan onkin tässä tarkoituksessa julkistettava KTM:n tarkastama yleispiirteinen selvitys hankkeesta ja sen arvioituista ympäristövaikutuksista ja turvallisuudesta. Selvityksessä ei yleensä, edellä jo esitetyistä syistä, voitane esittää jotakin tai joitakin laitosyyppiä koskevia yksityiskohtaisia tietoja, vaan on tyydyttävä ydinlaitoksia koskevaan yleisluonteiseen tietoon.

KTM:n, jonka asiana on valmistella periaatepäätöstä, tulee varata laitoksen lähiympäristön asukkailla ja kunnille sekä paikallisille viranomaisille mahdollisuus esittää kirjallisesti mielipiteensä hankkeesta. Tämän lisäksi KTM:n tulee järjestää sijaintipaikkakunnalla julkinen kuulemistilaisuus, jossa asiasta voidaan esittää mielipiteitä suullisesti ja kirjallisesti. Esitetyt mielipiteet on saatettava valtioneuvoston tietoon, mutta ne eivät sido valtioneuvostoa päätöksenteossa.

### Turvallisuustaso

Ydinenergialain 6§:n mukaan ”Ydinenergian käytön on oltava turvallista eikä siitä saa aiheutua vahinkoa ihmisille, ympäristölle tai omaisuudelle”. Lain sanamuoto on ehdoton. Se johtaisi tiukasti tulkiten siihen, ettei lupaa ydinlaitoksen rakentamiseen voitaisi lainkaan myöntää, koska vahingon vaaraa ei voida koskaan täysin poistaa. Tämän myöntää myös hallitus, joka esityksensä perusteluissa (1985 vp.-HE n:o 16) lähteekin

siitä, että ydinenergian käyttö on turvallista, jos on ryhdytty tarvittaviin varotoimiin vaaran vähentämiseksi käytännön näkökulmasta riittävän vähäiseksi.

Periaatepäätös edellyttää, että on olemassa riittävät edellytykset rakentaa ydinlaitos turvalliseksi (YEL 14§). Tämän selvittämiseksi KTM:n on hankittava säteilyturvallisuuskeskuksen ”alustava turvallisuusarvio”. Kun laitosyyppi ei yleensä ole vielä valittu eikä muitakaan turvallisuuden kannalta tärkeitä ratkaisuja tehty, alustava turvallisuusarvio voi sisältää vain selvityksen käytettävissä olevalla tekniikalla saavutettavasta turvallisuustasosta. Varsinaisessa rakentamisluvassa määritellään sitten yksityiskohtaisesti vaadittavat turvallisuustoimet.

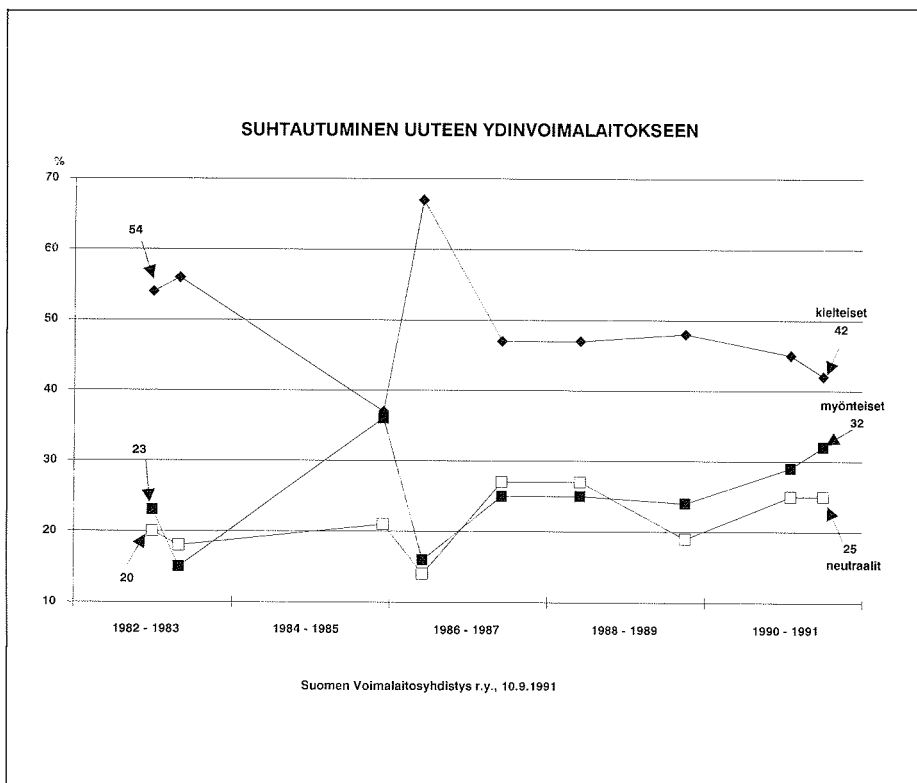
### Eduskunnan asema

Eduskunnan käsiteltäväksi voi tulla vain sellainen periaatepäätös, jossa ydinlaitoksen rakentaminen on katsottu yhteiskunnan kokonaisedun mukaiseksi. Valtioneuvosto on tällöin joutunut selvittämään laitokseen liittyvät, edellä pääpiirteissään esitetyt edut ja haitat. Nämä selvitykset ja valtioneuvoston kannanotto on tietenkin toimitettava eduskunnalle, niin kuin eduskunnan perustuslakivaliokunta on edellyttänyt (lausunto 17/1985). Valiokunta on eduskunnan kannalta korostanut niiden tietojen merkitystä, jotka koskevat hankkeen taloudellisuutta ja hakijan suunnitelmia väliarastoinnista ja loppusijoituksesta. Periaatepäätöksen tulisi valiokunnan kannan mukaan tiedollisesti antaa perusteita sellaiselle eduskuntakäsittelylle, jossa voidaan yhteiskuntapolitiikan ja kansantaloudellisten vaikutusten kannalta arvioida periaatepäätöksen hyväksymisen vaihtoehtoja. Eduskunta voi vain joko ”kumota periaatepäätöksen sellaisenaan tai päättää, että se jää sellaisenaan voimaan”. Hallituksen esityksessä todetaan, että laki ei salli minkäänlaisten valtiosääntöoikeudellisesti sitovien ehtojen, määräysten tai varausten sisällyttämistä eduskunnan päätökseen. Perustuslakivaliokunta katsoo kuitenkin, että valtiosääntöoikeudellista estettä ei ole sille, että asianomaisen erikoisvaliokunnan mietinnössä on kannanottoja, jotka asiallisesti ottaen — joskaan eivät oikeudelliselta sitovuudeltaan — ovat ehdon kaltaisia. Valiokunta viittaa myös joskus esiintyneeseen käytäntöön, jonka mukaan eduskunta on sisällyttänyt lausumia tarkastettavan säädöksen johdosta tekemäänsä päätökseen. Kun viidettä ydinvoimalaa koskeva periaatepäätös saattaa tulla tämän eduskunnan tarkastettavaksi, on mielenkiintoista nähdä, ryhtyykö eduskunta näitä keinoja käyttäen ohjaamaan valtioneuvostoa hallintopäätöksen tekemisessä. □

Oik.tri Raimo Pekkanen jäi eläkkeelle 1990 oikeusministeriön kansliapäällikön ja korkeimman hallinto-oikeuden hallintoneuvoksen tehtävistä. Nykyään hän toimii Euroopan ihmisoikeustuomioistuimen tuomarina Strasbourgissa. Puh. 90-1825202.



# Ydinvoiman yhteiskunnallisen hyväksyttävyyden ongelma



*Suomessa ydinvoimakeskustelu on jo ohittanut pohjalukemat. Suurin vastustus oli 1980-luvun alussa ja luonnollisesti myös vuonna 1986, jolloin tapahtui valitettava Tshernobylin onnettomuus. Nykyään keskustelu on suhteellisen argumentoitua eikä kauhukuvilla pelata niin paljon kuin aikaisemmin. Kuitenkin ydinvoimatietoon suhtaudutaan hyvin tunneperäisesti. IVO:n tai TVO:n jakamaa materiaalia pidetään yksipuolisenä ja vääränä. Mielenkiintoista on, että kun Suomessa on jokseenkin selkeästi kyetty todistamaan neljän voimalamme turvallinen toiminta, nyt on otettu uusiksi vastustuksen kohteiksi ydinpolttoaineen sijoitus ja energiatuotannon väitetty epätaloudellisuus.*

Erään määritelmän mukaan tyypillinen ydinvoiman vastustaja on keski-ikäinen pikkusikaria polttava, kasvissyöjän silmälaseja käyttävä ja Finlaysonin pussilakanaan pukeutunut nainen, joka asuu Helsingissä.

Vaikka määritelmä sisältääkin humoristisia ylilyönöitä, siihen myös kulmineoittu se jyrkkä vedenjakaja, joka erottaa ydinvoiman vastustajat ydinvoiman puolustajista. Ongelmaa voi lyhyesti luonnehtia tunteen ja järjen antagonismiksi.

Siinä kun tekniikkaan ja edistykseen uskova ihminen näkee ydinvoiman käytössä myönteistä, vastustaja lueskelee tunnekuohon vallassa kauhukertomuksia Tshernobylin lapsista ja salakavalasta säteilystä, joka myrkyttää luonnon. Oikean tiedon "saaminen perille" on erittäin vaikeaa, koska ennakkoluulot ja tunteomaisuus pitävät barrikadin liian korkeana.

## Vastustus peräisin 1970-luvulta

Toisen maailmansodan jälkeen oli useita vuosikymmeniä ihmisten mielissä suuri kauhukuva ydinsodasta. Atomipommiin sisältyi samalla kertaa sekä raamatullinen inferno että tuomiopäivä.

Sen sijaan ydinvoiman käyttö energian lähteenä oli kuin peilikuva atomipommille:

tiede, tekniikka ja edistys olivat ydinvoiman kehittämistä rauhanomaiseen käyttöön.

Vasta 1960-luvun lopulla suurvallat ryhtyivät neuvottelemaan ydinasepariteetista. Sen johdosta 1970-luvun alussa suurvaltojen välillä vallitsi suojaus ja näin ydinsodan välitön uhka väistyi taaemmaksi.

Samaan aikaan melko nopean taloudellisen kasvun ja myös elintason nousun myötä lähes kaikkialla länsimaissa syntyi uusia yhteiskuntien sisäisiä ristiriitoja. Sotien jälkeisten sukupolvien arvomaailma ei enää kulkenut samoja latuja vanhan sukupolven kanssa.

Elintasokritiikki yhdistettynä poliittiseen mobilisaatioon ulottui kaikkialle yhteiskuntaan. Kun kansainvälinen rauhanliike vielä 1950- ja 60-luvuilla vastusti ydinaseita, sen vastustus 1970-luvulla vähitellen siirtyi ydinvoiman "rauhanomaista" käyttöä vastaan.

Niin Suomessa kuin muuallakin siirryttiin nk. jälkiteolliseen yhteiskuntaan, jonka tunnusmerkkinä ei enää ollut mekaaninen toimeentulon hankinta, vaan ihmiset halusivat laadullisia tekijöitä elämältään. Tieto, informaatio ja jatkuva muutos lei-

masivat ja leimaavat edelleenkin tätä yhteiskuntavaihetta.

Ydinvoiman vastustus kasvoi maailmanlaajuisesti teollisen yhteiskunnan ja kovia arvoja edustavan yhteiskunnan kritiikistä. Kun siihen liitettiin ympäristöongelmat, koko probleemavyöhyt oli synnytetty: korkeaa teknologiaa edustava ydinvoima oli liian vaikea selitettävä kokemusperäisesti tietoa hankkivalle ihmiselle varsinkin, kun säteily ei haise, ei maistu eikä näy, vaan siitä saa syöpää.

Ydinvoiman vastustuksen tietoteoreettinen pohja on myös varsin mielenkiintoinen. Se pohjautuu hyvin pitkälle nk. aprioristiseen tietoon, ts. asiaa tutkimatta saadun oikean tiedon varmuuteen. Jos katsomme poliittista karttaa, huomaamme, että ydinvoiman vastustuksen tietoteoreettiset lähtökohdat korreloivat 50- ja 60-luvun vasemmistolaiseen rauhanliikkeeseen.

## Kansalaisten tieto peräisin tiedotusvälineistä

Mistä sitten on tavallisten kansalaisten ydinvoimatieto peräisin? Epäilemättä tiedotusvälineistä. Niissä ydinvoiman käsittely on vaikeaa. Toisaalta media haluaa tehdä näyttävän, jopa skandaaliin vivah-

tavan jutun, toisaalta pysyä ehdottoman objektiivisena. Valitettavana joskus pidetään sitä, että tosiasiat pääsevät pilamaan hyvän jutun.

Jos asiantuntija uskollisena tieteellisyyden vaatimukselle sanoo, että ydinvoima on 99,999 % turvallista, niin kansalainen alkaa miettiä johtopäätöstään 0,001 %:n perusteella. Saattaa vain arvata, mitä mielikuvia synnyttää kuva kädetönä lapsesta tai seitsenpäisestä vasikasta, vaikka ne jälkeenpäin todettaisiin täysin valheellisiksi jutuiksi.

Kansalaisilla ei ole omakohtaiseen kokemukseen perustuvaa tietoa ydinvoimasta. Ydinvoimalat ovat kohtuullisen usia ja niiden tuotetta kulutetaan huomaamatta välillisesti: sähkö saadaan töpselistä! Ydinvoimaa vanhemmat energiamuodot ovat konkreettisia. Ajatellaanpa vain vesi-, öljy- tai hiilivoimaa.

### Suosittu galluppien kohde

Jyrkkä jakautuminen ydinvoiman puolesta tai vastaan on myös siinä mielessä yhteiskunnallinen ongelma, että ydinvoiman nimissä voidaan helposti tehdä suosittuja gallup-kyselyjä. Vaihtoehtoja on vähän.

Kuitenkin kysymystä ydinvoiman käytöstä energialähteenä ei voida ratkaista suorilla gallupeilla eikä niihin verrattavissa olevilla kansanäänestyksillä. Kysymys on paljon monitahoisempi ja -muotoisempi kuin osataan kuvitella. Mielestäni Ruotsin esimerkki osoitti jo tämän. Mitä arvoa on kansanäänestyksellä, kun siitä ei voidakaan pitää kiinni.

Hedelmällisempää kuin asenteiden yksioikoinen mittaaminen on ajatella, miten yleensä hankalissa mutta välttämättömissä yhteiskunnallisissa kysymyksissä tulisi menetellä. Ydinvoiman kohdalla kysymys onkin pikemminkin siitä, siedetäänkö myönteinen ydinvoimapäätös vai ei.

### Suomessa keskustelu asiallista

Tulevaisuudessa ydinvoiman yhteiskunnallinen kynnys varmasti madaltuu. Sitähän osoittavat jo nykyiset mielipidetiedustelutkin. Ydinvoima pärjää energiamuotojen välisessä kilpailussa myös sen takia, että siihen liitetyt varaukset osoittautuvat toinen toisensa jälkeen perättömiksi. Toisin sanoen hitaan ja pitkän tien jälkeen epäluulot vähitellen hälvenevät.

Tietenkin on myös olemassa toinen ske-

naario. Ydinvoiman jatkokäyttö tuskin kestäisi toista Tshernobyliä. Tiedämme, että ydinenergian käytön taso idässä ei ole sillä tasolla, millä sen pitäisi olla. Siksi läntisen tietämyksen tulisi kiinnittää suurta huomiota Neuvostoliiton laitosten turvallisuuden nostoon. Sillä myös hälvennettäisiin epäluuloja lännessä.

Todellinen suomalainen ydinvoiman ongelma on se, että nyt pitäisi tehdä päätös maamme energiahuollosta, mikä vaikuttaisi vasta 1990-luvun lopulla. Miten saada ihmiset käsittämään asia, jonka todellinen merkitys alkaa vasta 10 vuoden kuluttua?

Tilanne voi silloin olla sellainen, että syytetään tämän päivän päättäjiä ja kansalaismielipiteen lietsojia tahallisesta ympäristön sabotoinnista, energiapolitiikan lyhytnäköisyydestä ja hyvinvointivaltion perusteiden romuttamisesta. Ettei näin kävisi, siksi nyt tarvitaan ydintekniikkaan perustuvaa perusvoimaa. □

Valt. tri Hannu Salokorpi on Taloudellisen Tiedotustoimiston yhteiskuntasuhteiden osaston johtaja.  
Puh. 90-13151529.





## Uraania riittää

*Uraania riittää hyvin rakennettavia ydinvoimaloita varten ja sitä saa aina hintaan, joka turvaa ydinvoiman kilpailukyvyn. Uraanin kokonaismäärä maapallolla on suuri, arviolta luokkaa kymmeniä tuhansia miljardeja tonneja. Se on jakaantunut epätasaisesti, liuennut, kulkeutunut ja rikastunut monenlaisiin geologisiin kerrostumiin. Tällä hetkellä kaivosyhtiöt eivät ole kiinnostuneita uusien uraanietsintymien löytämisestä, koska taloudellisesti huokeita esiintymiä riittää yli 30 vuodeksi. Vähäisestä etsinnästä huolimatta vuonna 1990 löydettiin Kanadasta jälleen uusi suuri uraanietsintymä, eräs maailman rikkaimmista.*

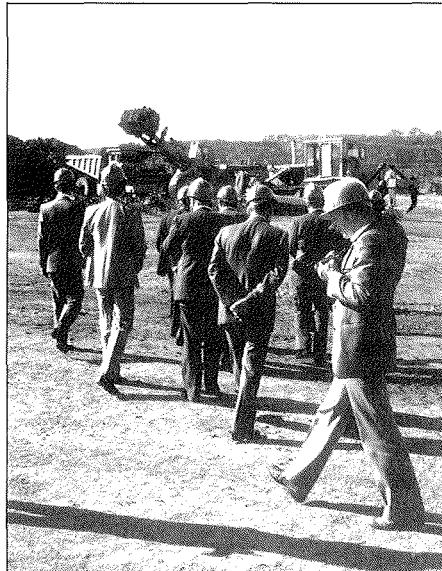
Kesän 1991 eräs pieni uraaniutinen oli pitkäaikainen sopimus uraanin toimittamisesta Suomeen Australian Olympic Dam -projektista, jonka tunnetut uraani-varat riittävät nykyisellä tuotantovauhdilla yli 300 vuodeksi. Tämä maailman suurin kaupallinen uraanietsintymä, 400 000 tonnia, löytyi muutama vuosi sitten vahingossa kuparia etsittäessä. Kaivoksen päätuote on kupari (15 miljoonaa tonnia) ja muut sivutuotteet hopea ja kulta.

Miten tämä kaivos liittyy uraanin riittävyyteen? Vertailuna voidaan mainita, että tämän yhden uraani-kaivoksen energia-varat ylittävät Euroopan ja USA:n tunnetut öljyvarat, kertakäytössä kevytvesi-reaktoreissa, ilman uudelleenkäyttöä.

Alueella on lisäksi runsaasti köyhempiä malmeja kuin ne mitä nykyään kannattaa käyttää. Niiden käyttöä ei suunnitella, koska geologian asiantuntijat arvioivat, että tulevina vuosina löytyy aina uusia edullisempia esiintymiä riittävästi.

### Uraani loppuu?

Miten on sitten mahdollista, että World Energy Conferencen ym. raporteissa on varoitettu öljyn ja kaasun ehkä loppuvan 30—50 vuodessa, ja että uraania ehkä riittää vain yhtä kauan kuin öljyä? Tällaiset arviot ovat tilastojen tulkintaa tiettyjen tarkoituksien hyväksi.



ATS vieraillee tällä Espanjalaisella uraani-kaivoksella 10 vuoden välein. Kuva on vuodelta 1981 ja kaivos on myös ohjelmassa lokakuussa 1991.

Uraanin osalta tarkoituksena on ollut kiihkeää resurssien käyttöä erityisesti nopeiden reaktori-kehittämiseen, joiden avulla sama uraani tuottaa monikymmenkertaisen määrän energiaa ja riippuvuus uraanitoimittajista vähenee vastaavasti.

### Tilastojen väärintulkintaa

1960-luvun tilastoista tultiin vastaavasti siihen tulokseen, että esimerkiksi tunnetut kupari- ja uraani-varat olisivat riittäneet ehkä vain 1980-luvun ajan (Rooman Klubi ym). Tällä hetkellä, 30 vuoden käytön jälkeen, kummankin metallin tunnetut "halvat" varat riittävät jälleen monen kymmenen, jopa sadan vuoden käyttöön, hintarajasta ja kulutusarviosta riippuen. Miten tämä selitetään?

### Uraanivarojen dynamiikka

Kaivosyhtiöt tähtäävät malminetsintään siihen, että niillä on noin 20 vuoden reservi. Etsintään panostetaan voimakkaasti vain, kun reservi uhkaa käydä pienemmäksi, tai kun kilpailijat ovat löytäneet selvästi edullisempia uusia reservejä ja oma tuotanto uhkaa muuttua kilpailussa liian kalliiksi. Tämä johtaa siihen, että mm. tunnetut kilpailukelpoiset uraani-reservit vastaavat yleensä 20—40 vuoden ennustettua kulutusta. Kilpailukelpoinen uraanin hinta edustaa nykyään sähkössä kustannusta alle 1 p/kWh.

### Maapallon uraanin määrä

Uraanin kokonaismäärä maapallolla on suuri, arviolta luokkaa kymmeniä tuhansia miljardeja tonneja, josta pelkästään merivesiin liuenneena miljardeja tonneja. Se on jakaantunut epätasaisesti, liuennut, kulkeutunut ja rikastunut monenlaisiin geologisiin kerrostumiin. Sitä tullaan aina löytämään tarpeen mukaan. Nykyinen vuotuinen tarve on noin 0,05 miljoonaa tonnia, jolla katetaan 17 % maapallon sähköntuotannosta. Vähäisestä etsinnästä huolimatta vuonna 1990 löydettiin Kanadasta jälleen uusi suuri uraanietsintymä, eräs maailman rikkaimmista.

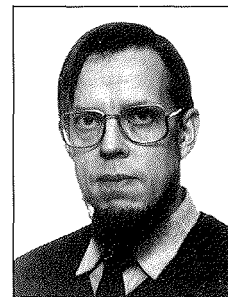
Eräissä saksalaisissa väitöskirjoissa osoitettiin, että ilman nopeita reaktoreitakin voitaisiin rakentaa laaja ydinvoimaohjelma käyttämällä nykyistä köyhempiä uraanietsintymätyyppejä, jopa useita satoja vuosia, ilman että ydinvoima menettää kilpailukykyä. Nykyinen kehitys on kuitenkin se, että uudet esiintymät sisältävät aikaisempaa rikkaampaa malmia. Nopeat reaktorit tulevat kuitenkin aikaan, mikäli ne katsotaan talouden, turvallisuuden ja ympäristön kannalta edulliseksi tulevaisuuden linjaksi.

### Tulevaisuus — ilmakehä ratkaisee

Energian raaka-aineiden riittävyys ei aseta käytännössä rajaa energian tuotannolle. Sen asettaa — paitsi tapauskohtaisesti hinta — ilmakehän sietokyky erilaisten päästöjen, lopulta hiilidioksidin suhteen. Uraani on erityisasemassa, sillä sen käyttö ei tuota ilmakehään saastekaasuja. Tarkkaan ottaen USA:n ydinvoimatuo-annon päästöt ovat 3—4 % vastaavan hiilivoiman päästöistä, pääasiassa kaasudiffuusioväkevöinnin takia. Euroopassa ydinpolttoainehuollon päästöt ovat sentrifugioväkevöinnin takia vain luokkaa 0,4 % hiilivoiman päästöistä, ja vielä pienemmät Ranskassa, jossa väkevöintiin tarvittava energiakin tuotetaan ydinvoimalla. Uraanin varaan voidaan rakentaa laaja, puhdas energiatuotanto, kunhan se tehdään turvallisesti. □

DI Ilkka Mikkola on Teollisuuden Voima Oy:n polttoainetoimiston päällikkö. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1967 ja oli Seuran johtokunnassa vuosina 1986-1990 sekä puheenjohtaja vuosina 1989-1990. Puh. 90-61801.





## Energiajärjestelmän haavoittuvuus

*Yhteiskunnan toiminnalle on energiajärjestelmän ja erityisesti sähköhuollon toimintakyky kriittistä niin normaaleissa kuin kriisioloissakin. Normaaliohjelmien luotettavuus on hyväksyttävällä tasolla, mutta aseellinen toiminta tuo uhkan, johon ei ole riittävästi varauduttu. Ydinenergialla on hyvät puolensa, mutta siihen liittyy myös merkittäviä erityisongelmia.*

Eläminen ja toiminta nykyaikaisessa yhteiskunnassa tukeutuu useisiin tärkeisiin teknillisiin järjestelmiin, joiden toiminnan häiriintyminen aiheuttaa moninaisia vaikeuksia koko yhteiskunnalle. Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa on Puolustustaloudellisen suunnittelukunnan tarpeita varten selvitetty näissä järjestelmissä esiintyvien häiriöiden aiheuttamaa yhteiskunnan haavoittuvuutta. Merkittävä osa työstä kohdistui energiajärjestelmään, joka osoittautui mahdollisten häiriötilanteiden seuraamusten kannalta muita keskeisiä järjestelmiä kriittisemmäksi.

Syyinä sähköhuollon ja muun energiajärjestelmän kriittiselle asemalle on toisaalta miltei kaiken toiminnan riippuvuus energiansaannista ja toisaalta vakavimpien ajateltavissa olevien häiriöiden vaikutusten nopea leviäminen laajoille alueille, ääritapauksissa jopa koko maahan, kuten Ruotsin suuressa sähkökatkossa vuonna 1983.

Vaikka energiankäyttö ulottuukin kaikkialle ja kaikkeen toimintaan, on eri käyttökohteiden herkkyys häiriöille kuitenkin hyvin vaihteleva. Erikoisasemassa ovat ne sähkön käyttäjät, joille jo muutaman sekunnin tai parin minuutin katko voi aiheuttaa suurta vahinkoa. Tällaisia ovat mm. sairaaloiden leikkaussalit ja tehohoito-osastot, tietoliikenne- ja atk-keskukset, eräät liikenteenohjausjärjestelmät sekä jotkut vaaralliset teollisuusprosessit.

Riskin suuruudesta johtuen on edellä luetellut käyttökohteet useimmissa tapauksissa varustettu varavoimailaittein, joiden avulla pahimmat vahingot voidaan välttää. Varavoimailaitteet eivät kuitenkaan ole täysin luotettavia, joten pieni riski jää niitakin käytettäessä jäljelle.



Sulan teräksen käsittelyssä häiriötön energiansaanti on tärkeää.

Lehikuvaa Oy

Energian saantihäiriön kestäessä kymmeniä minutteja voivat jo monet teollisuusprosesseissa käytettävät laitteet, erityisesti uunit, vahingoittua pahoin: sula materiaali voi jäähdyttyä pinnoille tai putkistoon tai esimerkiksi sellutehtaan pyörivä meesauuni saattaa taipua, jos pyöriminen loppuu. Monissa tapauksissa voidaan jälleen turvautua varavoimaan, mutta tehontarve saattaa olla niin suuri, että varavoimailaitteet tulevat liian kalliiksi.

Sähkökatkon vaikutukset ulottuvat maatalouteenkin jo parissa tunnissa, joissain tapauksissa nopeamminkin. Vakavimmat seuraukset koskevat suurkanaloita ja muita kotieläinsuojia, joissa tuuletuksen loppuminen on hyvin vaarallista. Myös kasvihuoneviljely ja viljan kuivaus kärsivät jo suhteellisen lyhyistä katkoista.

Eriyisen vaikeita ongelmia aiheuttaa rakennusten lämmityksen katkeaminen kovilla pakkasilla. Pientalot jäähtyvät pakkasen puolelle ½—2 vuorokaudessa, ker-

rostalot hieman hitaammin. Koska miltei kaikki lämmitys on riippuvaista sähköstä ainakin pumppujen voimanlähteenä, jotta pitkä sähkökatko vakavimpiin vaikeuksiin myös lämmityksessä. Vesikeskuslämmitys on katkojen yhteydessä erityisen ongelmallinen, koska sen uudelleen käynnistäminen ei onnistu helposti putkien jäähtyttyä alle jäätympisteeseen, vaikka ne olisivat saatu tyhjennettyä.

Sähköntuottajat ja sähköverkkojen ylläpitäjät ovat aina olleet tietoisia luotettavan sähkönsaannin tärkeydestä. Luotettavuutta onkin pyritty varmistamaan monin erilaisin keinoin. Merkittävänä tekijänä varmistamisessa on pohjoismainen yhteistyö Nordel-organisaation puitteissa. Tämä koskee kuitenkin lähinnä tiettyjä sovitteita rajoja lievempien häiriöiden hoitoa niin, että kuluttajat saavat sähkönsä katkoilta ja hyvälaatuisena.

Vakavimmista häiriötilanteista on selvittävä monesti kotimaisin voimin tinkien

hallitusti sähkötoimituksista asiakkaille, joille tästä ei aiheudu pitkävaikutteisempia seuraamuksia. Tällaisia erityisen vakavia häiriötilanteita ovat esimerkiksi Suomen ja Ruotsin välisten tai Etelä- ja Pohjois-Suomen välisten pääsiirtoyhteyksien katkeaminen sekä useamman kuin yhden suuren sähkötoimittajan jääminen äkkinäisesti pois tuotannosta.

Itse kantaverkon osalta perustuu varmistus ensisijaisesti silmukoituisiin ja vaihtoehtoisiiin siirtoyhteyksiin. Mikään yksittäinen yhteys ei ole niin tärkeä, ettei ilman sitä voitaisi jatkaa sähkön normaalia jakelua. Sellaisia häiriöiden ja vikojen yhteensattumia, että valtakunnanverkon toimituskyky menetetään, on arvoitu sattuvan hyvin harvoin, useiden vuosikymmenien välein. Tällöinkin voidaan verkko yleensä saada osateholla toimintaan suhteellisen nopeasti, ehkä noin puolessa tunnissa.

Suurimman uhkan sähköverkolle muodostaa ehkä tahallinen vahingonteko. Sotilaalliset toimet tai suurehkon ryhmän suunnitelmallinen sabotaasitoiminta voivat estää kantaverkon käytön pitkiksi ajoiksi. Ajattelemisen aihetta monille antanee ruotsalaisessa Elteknik-lehdessä tammikuussa 1991 julkaistu kuvaus siitä, kuinka terroristiryhmä voisi halutessaan pysäyttää sähköhuollon.

Valtakunnalliseen häiriöön verrattuna huomattavasti yleisempiä ovat alueelliset sähkökatkot. Poikkeuksellisen vakavan esimerkin tällaisesta muodostaa Savossa vuonna 1985 riehuneen Manta-myrskyn vaikutukset. Suur-Savossa oli 95% käytäjistä yhtäaikaa ilman sähköä, osa yli 2 vrk. Syynä häiriöiden pituuteen ja vakavuuteen oli vikojen suuri määrä, korjaamiseen kului työtunteja 27500.

Useissa eri yhteyksissä, mm. Manta-myrskyn jälkeen Savossa, on pyritty arvioimaan sähköhäiriöistä kuluttajille aiheutuvan taloudellisen riskin suuruutta ja vertaamaan tätä varmistustoimenpiteiden kustannuksiin. Yleisimpien, lyhyehköjen häiriöiden osalta tämä onkin sangen hyvin toteutettavissa, mutta hyvin harvinaisten, erityisen vakavien tilanteiden käsittely on tällaisissa tarkasteluissa aina vaikeaa.

Sähköhuollon häiriöriskin merkittävä pienentäminen nykyisestä voinee tapahtua taloudellisesti vain jakamalla varmistusvastuu tarkoituksenmukaisesti valtakunnanverkon hoitajan, alueellisten jakeluyhtiöiden ja kuluttajien kesken. Tämän vastuujaon suunnittelussa ja toteuttamisessa on ilmeisesti vielä merkittäviä parantamismahdollisuuksia.

Ajatellen erityisesti vakavia kriisejä, joissa esiintyy sotilaallista toimintaa tai laajaa sabotaasitoimintaa, on riippuvuus valtakunnallisesta kantaverkosta selvästi heikkous. Maan eri alueiden kyky hoitaa välttämättömin sähköhuolto riippumattomina saarekkeina vähentää merkittävästi aseellisten iskujen vaikutusta sähköhuoltoon. Valmiudet saarekekäyttöön vaihtelevat nykyisin suuresti maan eri osien välillä.

### Ydinenergia haavoittuvuuden kannalta

Ydinenergia on haavoittuvuusriskien kannalta monessa suhteessa erikoisasemassa. Toisaalta ovat ydinvoimalaitosten polttoainevarastot yleensä erityisen suuret turvaten jopa useiden vuosien tuotannon tuontisulkutilanteissa. Toisaalta liittyy ydinenergiaan ongelmia, joiden perussyinä ovat ydinvoimalaitosten suuri yksikkökoko sekä ennen kaikkea vakavien onnettomuuksien mahdollisuuteen eri tavoin liittyvät tekijät. Ongelmia pienentää se perusteellisuus, jolla ydinvoimalaitoksissa paneudutaan niin toiminnan luotettavuuteen kuin laitosten fyysiseen suojaukseenkin.

Suuresta yksikkökoosta johtuen jo kahden ydinvoimalaitosyksikön yhtäaikainen seisominen kulutushuipun aikoihin tai kahden yksikön alasajo lyhyen ajan kuluessa rasittavat merkittävästi sähköverkkoa ja heikentävät sen luotettavuutta. Yhden yksikön häiriöt eivät vielä uhkaa sähköntarjonnan luotettavuutta, ellei tilanne ole jollain muulla tavoin poikkeuksellinen.

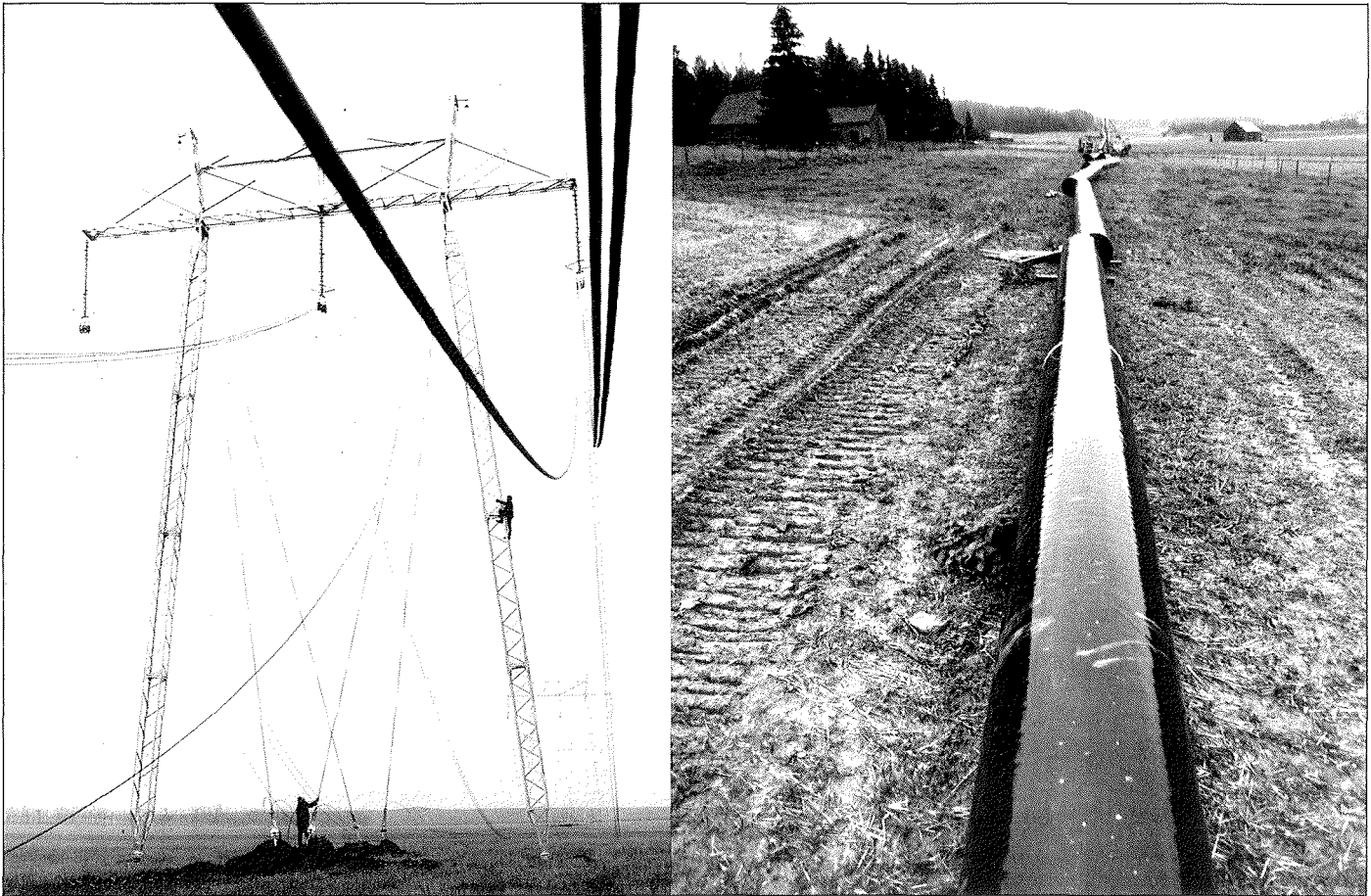
Vakavien onnettomuuksien uhkan takia sinänsä hyvin toimiva laitos voidaan joutua sulkemaan jonkun monista varalaitteista vioittuessa. Samoin voi yhden laitoksen vikaantuminen johtaa päätökseen samankaltaisten laitosten sulkemisesta mahdollisesti jopa silloinkin, kun vika on ilmennyt jossain muussa maassa. Sotilaallisessa kriisissä voidaan ajautua tilanteeseen, jossa laitoksia ei uskalleta käyttää, koska pelätään raskain aseina suoritettavaa sotilaallista iskua. Tällainen isku kohdistuessaan toimivaan voimalaitokseen saattaisi nimittäin johtaa vakavaan reaktorionnettomuuteen ja radioaktiivisiin päästöihin.

On myös syytä muistaa, että monet terroriin taipuvaiset ryhmät ovat julistautuneet ydinenergian vastaisiksi ja että Euroopassa on tehty terrori-iskuja ydinvoimalaitosten läheisyydessä voimajohtoja vastaan sekä suoraan ainakin yhteen rakenteilla olleeseen voimalaitokseen.

### Kaukolämpö

Häiriöherkkyyden kannalta muistuttaa muista energiamuodoista kaukolämpö sähköä sikäli, että yhden häiriön vaikutus

<i>Esimerkkejä eripituisten sähkökatkosten aiheuttamista häiriöistä. (Perustuu julkaisuun Säker elförsörjning, Statens offentliga utredningar 1984:69, Stockholm 1984.)</i>		
Keskeytysaika	Toiminto	Ongelmat/seuraukset
1 s	Lennonjohto Leikkaussalin valaistus Atk-järjestelmät Prosessiteollisuus	Lentoturvallisuus voi vaarantua. Potilasturvallisuus Tietoa voidaan menettää. Prosessin pysähtyminen ja pitkät käynnistysajat.
1 min	Teho-osastot	Hengityslaitteet ym.
10—15 min	Valimoteollisuus	Kuljettimilla oleva sula materiaali.
15—30 min	Suurkanalat	Eläimet kuolevat ilman tuuletusta.
30 min	Prosessiteollisuus Valimoteollisuus	Esim. uunit jäähtyvät. Käynnistäminen voi viedä päiviä. Masuunien vaurioituminen.
2 h	Vesihuolto	Pumppausasemat eivät toimi.
6 h	Valimoteollisuus Kauppa	Viikkojen seisokki valun jähmettyessä uuneihin. Vähittäiskaupat kiinni. Kauppojen pakastealtaat sulavat.
10 h	Lämpöhuolto Akkuvarmistetut puhelinkeskukset	Pientalot, sairaalat. Puhelinliikenteen katkokset.
12—24 h	Tieliikenne Elintarvikehuolto Lämmitys.	Bensiinitankit tyhjiä. Jäähdytetyt ja pakastetut elintarvikkeet eivät säily. Kerrostalot jäähtyvät pakkasella.
Useita vuorokausia	Yhteiskunta Varavoimalaitteet.	Ei toimi. Monet työpaikat ja palvelut suljettuja. Polttoainevarastot alkavat tyhjentyä.



Varastointimahdollisuuksien puuttuessa tuontisähkö ja maakaasu ovat erityisen herkkiä häiriöille.

Lehtikuva Oy

tukset voivat kohdistua suurehkoon käyttäjäryhmään hyvin nopeasti. Pienehköt toimitushäiriöt kaukolämpöverkoissa ovat sangen yleisiä, mutta vakaviin seurauksiin ne eivät liene missään johtaneet.

Vakavien häiriöiden mahdollisuus on kuitenkin olemassa, sillä Suomesta löytyy yli kymmenentuhannenkin ihmisen asuma-alueita, joiden lämmitys on täysin riippuvainen yhdestä kaukolämpöputkesta, joka ei ole kaikissa kuviteltavissa vaurioissa korjattavissa riittävän nopeasti. Vastavan riskin muodostavat jotkut pienehköt tai keskiuuret verkot, joissa yhden lämmityslaitoksen vaurioituminen lopettaa kaiken tai suurimman osan lämmöntuotannosta.

## Maakaasu

Maakaasuun liittyvän riskin pääsyynä on riippuvuus yhdestä runkoputkesta ja yhdestä kaasuntoimittajasta. Tästä johtuen on viikkoja kestävä tai pitemmänkin toimituskatkon mahdollisuus varteenotettava.

Useimmat maakaasun käyttäjät ovat varautuneet ainakin laitteistojen puolesta varapolttoaineen käyttöön, vain muutamien käyttäjien osalta tämä ei tule lainkaan kyseeseen. Varapolttoaineet (kevyt ja raskas polttoöljy sekä joissain tapauk-

sisä nestekaasu) ovat kuitenkin sangen kalliita, mistä johtuen kuluttajien varapolttoainevarastot ovat yleensä pienet. Neste Oy:n tekemien arvioiden mukaan varapolttoaineiden kuljettaminen valtakunnallisista öljyvarastoista kuluttajille onnistuu häiriötilanteissa, mutta yksityiskohtaisemmat selvitykset ja jatkuvasti ajantasalla pidettävät suunnitelmat olisivat tarpeen. Sähköhuollon kannalta on huolehdittavaa se, että Neuvostoliitto on paitsi ainoa maakaasun, myös merkittävä sähkön toimittaja. Erilaiset Neuvostoliiton alueella esiintyvät ongelmat voivat täten katkaista sekä sähkön toimitukset että maakaasuun perustuvan sähköntuotannon Suomessa.

Luotettavuussyistä ei olennaisesti nykyistä suurempaa riippuvuutta maakaasusta voitane pitää suotavana ilman maakaasun vaihtoehtoista tuontikanavaa, siis riippumattomaa putkilyhteyttä tai nesteytetyn kaasun tuontijärjestelyjä.

## Nestemäiset ja kiinteät polttoaineet

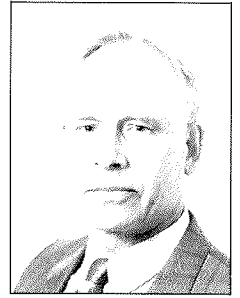
Sekä öljyn että hiilen varastot ovat Suomessa jatkuvasti suuret, mistä johtuen vasta kuukausia jatkuvat saantivaikeudet johtavat vähitellen kiristyviin rajoituksiin. Hyvin pitkissä kriiseissä voidaan turvautua nykyistä suuremmissa määrin kotimaisiin polttoaineisiin, turpeeseen ja puuhun.

Jatkuvasti kehitteillä olevat kaasutus- ja nesteytystekniikat parantavat entisestään mahdollisuuksia kotimaisten polttoaineiden käyttöön kriisitilanteissa. Sellaisen valmiuden ylläpitäminen, että normaali toiminta voitaisiin turvata kotimaisten polttoaineiden avulla on kuitenkin näillä näkymin ylivoimaisen kallista.

Kaiken kaikkiaan voidaan Suomen energiahuollon haavoittuvuusriskiä normaalioloissa pitää hyväksyttävänä, joskin järjestelmässä on joitain heikkouksia, joiden korjaaminen on aiheellista.

Vakavia ja erityisesti sotilaallisia kriisejä ajatellen on järjestelmän riippuvuus keskitetyistä toiminnoista ongelma, jonka lieventämiseen olisi ehkä uhrattava huomattavasti nykyistä suurempia voimavaroja. Suhteessa maanpuolustuksen tai varmuusvarastoinnin kustannuksiin ovat esimerkiksi sähköhuollon saarekekäytön turvaamiseen tehdyt satsaukset olleet hyvin pieniä, vaikka ne olisivat taloudellisen maanpuolustuksen luonnollinen osa. □

Tkt Pekka Pirilä on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion johtava tutkija. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1980. Puh. 90-4561.



## Pieni ja passiivinen vai suuri ja aktiivinen?

*Passiivisilla reaktoreilla tarkoitetaan yleisesti laitoksia, joissa vikojen tai häiriöiden jälkitalanteiden hallinta perustuu yksinomaan luonnonlakeihin niin että ulkopuolista energiaa ei tarvita ainakaan jatkuvasti. Käytännössä tämä on rajoittanut suunnitellut laitokset keskikokoisiksi, 500—600 MW teholuokkaan. Kehitysprojekteja passiivisiksi laitoksiksi on, mutta tuleeko näistä yksikään kaupallisesti toteutettavaksi, riippunee lopulta taloudellisesti kilpailukyvyystä, ei psykologisista tekijöistä.*

Vallinnut tauko ydinvoiman rakentamisessa on antanut tilaisuuden kehitystyöhön. Paineita uusien entistä parempien (= turvallisempien ja taloudellisempien) laitosten kehittämiseen on lisännyt joissakin maissa tosiasiasa vallinnut ydinvoiman moratorio l. rakennuskielto. Sen voittamiseksi pyritään esittämään yhä turvallisempia laitoksia. Mikäpä olisi psykologisesti hyväksyttävämpi kuin reaktori joka pahimmassakin mahdollisissa häiriötilanteissa ja kaikkien järjestelmien petettyä jäisi itseksen muhimaan voittamatta itseään tai aiheuttamatta haittaa ympäristölleen. Three Mile Islandin tapaisen sydämen sulamisonnettomuuden estäisivät luonnonlait, vaikka käyttökäytöstä pelästyneenä lähtisi hermopolomalle tehtyään kaikki mahdolliset operaattorivirheet.

### Passiivisuuden tavoitteet ja lajit

Passiivisuuden tavoitteena näyttää tällä hetkellä olevan lähinnä äärimmäisten onnettomuustapausten ennalta ehkäiseminen passiivisin toiminnoin. Yksinkertaistettuna on kysymys jälkijäähdytyksen turvaamisesta, aivan samoin kuin nykyisissäkin reaktoreissa. Reaktorisydämen sulamisen estäminen ja sitä kautta ympäristöpäästöjen rajoittaminen ovat käytännön tulokset. Sivutuotteena toivotaan päästävän turvaprozessien ja -laitteiden yksinkertaistamiseen.

Passiivisen toiminnan perusteiksi hyväksytään sen puhtaimmasta muodosta vain ilman ohjausta ja ulkopuolista energiaa tapahtuvat toiminnot. Ne perustuvat mm. painovoimaan, lämmönjohtumiseen, luonnonkiertoon, höyrystymiseen ja lauhutumiseen jne. Kuten edempänä todetaan, täydelliseen passiivisuuteen on vaikea päästä ja määritelmää on jouduttu venyttämään.

Vesijäähdytteisissä reaktoreissa lopulliseen tavoitteeseen, että reaktorisydän pidetään joka tilanteessa veden alla, pyritään kahta päälinjaa.

Ensimmäinen tunnetaan ns. SECURE- tai PIUS-tyyppinä sen ensimmäisen esittäjän Asea- (nyk. ABB) Atomin mukaan. Siinä reaktorisydän paineastioineen on periaatteessa suuressa vesialtaassa. Jos jäähdytyskierto häiriintyy tai primääripiiriin tulee vuoto, ympäröivä boorattu vesi täyttää aina reaktorisydämen ja samalla sammuttaa sen. Jälkilämpö siirtyy luonnonkierroilla tai johtumalla vesialtaaseen, jossa se käytetään veden lämmittämiseen ja sitten mahdollisesti höyrystämiseen. Tätä periaatetta on myöhemmin sovellettu muissakin suunnitelmissa. Esimerkkinä on japanilainen ISER (Intrinsically Safe and Economical Reactor), joka on lähinnä integroitu painevesireaktori vesialtaassa. Integroitu tarkoittaa että höyrystimet ovat reaktoripaineastian sisällä.

Toinen passiivisten vesireaktoreiden päätyyppi perustuu normaalitoiminnassaan nykyisiin reaktoreihin. Aktiiviset, käyttövoimaa vaativat hätäjäähdytysjärjestelmät on korvattu painovoimalla tai paineen avulla tyhjentyvin vesisäiliöin. Näiden avulla reaktorisydän pidetään joka tilanteessa veden alla. Joissakin tilanteissa käytetään luonnonkierroilla toimivaa höyrystys-lauhdutusprosessia. Tässä tyyppissä on primääripiiriin tai laitosrakennuksen pohjalle vettä syöttävät säiliöt pidettävä suljettuna ja primääripiiristä eristettynä normaalikäytön aikana. Periaatteessa säiliöt saadaan tyhjentämään yksinkertaisen takaiskuventtiilin kautta. Käytännössä on kuitenkin suunnittelun edetessä todettu, että väkisin tarvitaan jokunen ohjattu venttiilitoiminto. Puhastaan passiiviseen toimintoon ei päästä. Niinpä passiivisuuden määritelmää on pyritty uudelleenkirjoittamaan siten, että prosessi tai toimilaitte on passiivinen, jos toimilaitteen tarvitsee toimia vain kerran, esim. venttiili avautuu tai sulkeutuu.

Kuten näkyy, passiivisuuden määritelmää joudutaan venyttämään ja tulkitsemaan. Raja ei-passiivisiin reaktoreihin on häilyvä. Rajaksi näyttäisi muodostuvan, että passiivisissa reaktoreissa ei tarvita **jatkuvaa käyttövoimaa varoturvallaitteille**. Turvallisuusanalyysissä joudutaan kerran toimiville laitteille antamaan nollasta poikkeava vikaantumistodennäköisyys. — Joka tapauksessa tällaisten ”melkein passiivisten” järjestelmien pitäisi olla luotettavuudeltaan parempia kuin nykyisten varoturvajärjestelmien joten kehitys on positiivista. Aktiivisten moninkertaisten varoturvallaitteiden poisjäämisen pitäisi myös vähentää laitoksen kokonaiskomponenttimäärää. Tämä yksinkertaistaminen taas vaikuttaa investointi- ja käyttökustannuksiin.

Muista kuin vesireaktoreista todettakoon, että kaasujäähdytteisistä korkealämpötilareaktoreista (HTR) on esitetty passiivisesti turvallisia versioita. Nämä perustuvat lähinnä jälkilämmön poisjohtumiseen suurissa lämpötilaeroissa. Koska näyttää että tämä reaktorityyppi ei saavuta kaupallista läpimurtoa lähivuosikymmeninä ei näitä käsitellä enempää.

Suunniteltujen passiivisten laitosten koko on ollut rajoitettu, yleensä 500—600 MW sähköä. Syynä on lähinnä ollut järkeenkäyvä asia, että luonnonkierroilla toimivien putkistojen ominaisiirtokyky, lämmönvaihtajien ominaiskapasiteetti jne. on pienempi kuin pakkokiertoisten. Samankokoisten passiivisten varoturvallaitteiden kapasiteetti on kokonaisuudessaan siis aktiivisia pienempi.

Todettakoon silti, että aivan viime kuukausina on esiintynyt tietoja että passiivisiin varoturvallaitteiden pystyttäisiin toteuttamaan myös isompia (n. 1000 MW) laitoksia.

Toinen peruste tälle kokoluokalle on yleinen mielenkiinto pieniin ja keskisuuriin laitoksiin (SMR, Small and Medium Reactor). Kokoluokan eduiksi katsotaan mm.

- pienempi kertainvestointi ja samalla investointiriski
- sopivuus pienten yhtiöiden verkkoihin
- sopivuus sähköntarpeen hitaaseen kasvun

— arvio, että investointi per kW ei olisi suurempi kuin nykyisillä isoilla 1000—1300 MW laitoksilla. Kokemuseräistä näyttöä tästä ei ole.

— sopivuus yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon, koska lämmöntarve on yleensä muutamia satoja MW.

### Esimerkkejä passiivisista laitoksista

Viime vuosina on mainittu joukko valmistajia jotka kehittelisivät enemmän tai vähemmän passiivisia laitoksia. Lähemmin tarkastellen seuralle jää vain muutama vakavamman suunnittelu- ja kehitystyön kohteena oleva laitos.

Tärkeimmät ovat USAssa japanilaisten kanssa yhteistyössä kehitteillä olevat AP-600 (Advanced Passive 600 MW painevesireaktori, Westinghouse ja Mitsubishi) sekä SBWR (Simplified Boiling Water Reactor, 600 MW, General Electric ja Hitachi). Niiden kehitys alkoi 80-luvun puolivälissä. 1990—95 suunnittelu jatkuu valtion osallistuessa kustannuksiin DOE:n (Department of Energy) kautta. Tavoitteena on viranomaisten (NRC) lisensointi n. 1995 mennessä. Nyt tästä aikataulusta ollaan viimeisten tietojen mukaan lipsu- massassa ja laitokset olisivat tilausvalmiina vasta 1997 tai 1998. Ensimmäiset laitokset voisivat valmistua noin vuoteen 2005 mennessä.

Westinghousen AP-600 on kehitetty nykyisestä 2-looppisesta laitoksesta. Reaktorin ominaiskuormitus on pienempi ja polttoainemäärä sekä paineastia vastaa- vasti suurempia. Kummassakin loopissa on 2 märkäroottoripumppua, jotka siis olisivat palaamassa voimareaktoreihin. Laitoskonseptin ilmoitetaan tarvitsevan n. 30 % vähemmän rakennustilavuutta, 35—60 % vähemmän pumppuja ja venttiilejä, 50—70 % lämmönvaihtimia ja putkistoa sekä 80 % vähemmän ohjauk- kaapeleita verrattuna nykyiseen laitokseen.

Sydämen pitämiseksi veden alla primääri- piirin vuototapauksissa on kolme passiivista järjestelmää.

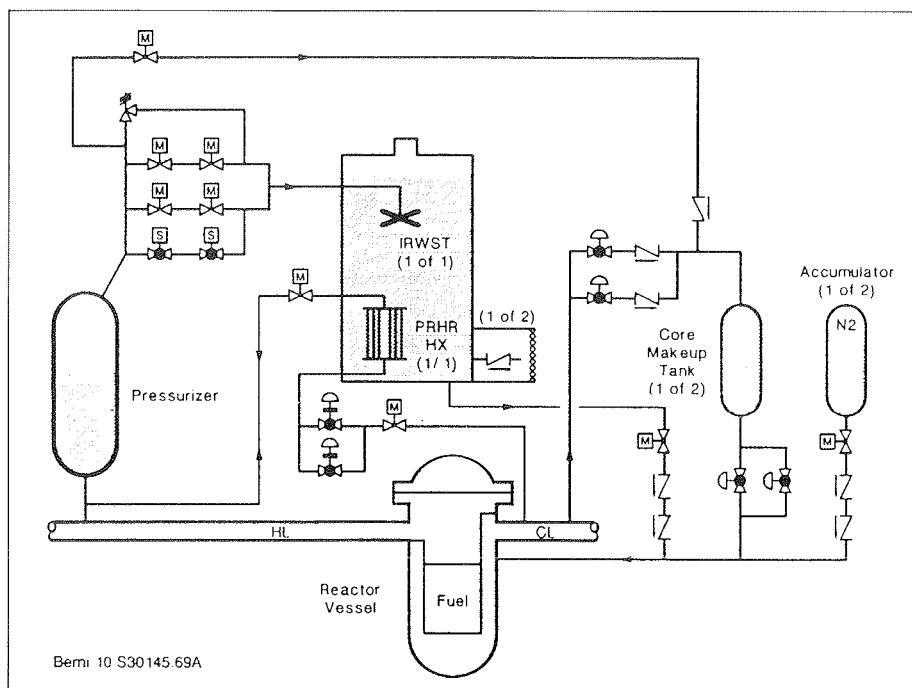
1. 2 × 60 m<sup>3</sup> täydessä käyttöpainessa olevaa lisävesitankkia.
2. 2 kpl normaaleja paineakkuja, 50 barin painessa.
3. polttoaineen vaihtoaltaan vesi valuu painovoimalla reaktorisydämeen paineen laskettua atmosfääriseksi.

## KEHITTYNEET VESIREAKTORIT (ALWR)

### USA UTILITY REQUIREMENTS

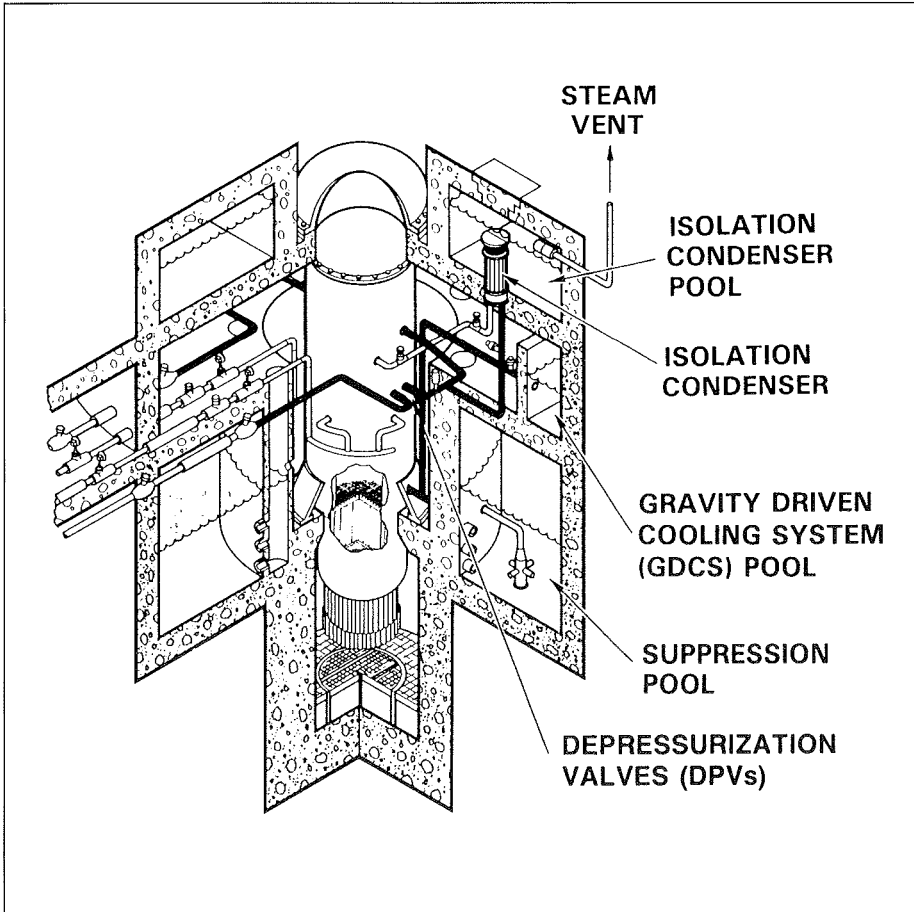
	EVOLUTIONARY	PASSIVE
KOKO	1200–1350 MW	500–600 MW
TURVALLISUUS- PERIAATE	YKSINKERTAISTETUT JA PARANNETUT AKTIIVISET JÄRJESTELMÄT	PÄÄASIALLISESTI PASSIIVISET JÄRJ. (EI VOIMAVIRTA- TARVETTA)
KÄYTTÖAIKA	60 y	
VAKAVA REAKTORION- NETTOMUUS TODENNÄKÖISYYS PER VUOSI	< 10 <sup>-5</sup> (SYDÄMEN SULAMINEN)	
SÄHKÖTEHON MENETYKSEN KESTO	≥ 8 hr	
KÄYTTÄJÄ POISSA	(30 min)	>72 hr
SÄTEILYANNOS LAITOSAIDALLA	< 25 rem, 10 <sup>-6</sup> TODENNÄK. (SUOMI: < 0,5 rem)	
SÄÄDETTÄVYYS	JATKUVA KUORMANSEURANTA	
HENKILÖSTÖN ANNOS	< 100 rem / y (SUOMI: < 50 rem / y)	
TOTEUTUSAIKA: —TILAUS-KÄYTTÖ —RAK.ALOITUS-KÄYTTÖ	≤ 72 kk ≤ 54 kk	≤ 60 kk ≤ 42 kk
TALOUDELLISUUS (VRT. HIILI) —LYHYT AIKAVÄLI —KOKO ELINIKÄ	10 % ETU ENSIMM. 10 y 20 % etu 30 y	

Taulukko. USAn voimantuottajien vaatimukset kehittyneille vesijäähdytteisille reaktoreille, sekä nykyisistä malleista kehittyneille (evolutionary) että passiivisille laitoksille.



Westinghousen AP-600 laitossuunnitelman passiiviset varoturvajärjestelmät yksinkertaistettuna. Primääripiirin pysähtyessä luonnonkiertoinen jäähdytyspiiri siirtää jälkilämmön vaihtolataus- altaan veteen PRHR-lämmönvaihtimen kautta. Vuototapauksissa vettä reaktoriin syöttävät ensiksi 2 × 60 m<sup>3</sup> käyttöpainessa (n. 160 bar) olevat lisävesisäiliöt (Core Makeup Tank). Paineen las- kettua 50 bariin toimivat paineakut (Accumulator). Automaattisen paineenalennusjärjestelmän laskettua paineen n. 0,7 bariin, vaihtolatausaltaan vesi valuu painovoimalla reaktoriin.





General Electricin SBWR:n turvasysteemien toiminta jäähdytteenmenetysonnettomuudessa. 1. Lauhdutusallas (Suppression Pool) absorboi ulospuhallusenergiaa. 2. Reaktorin paine alennetaan venttiilien (DPVs) avulla. 3. Painovoimainen jäähdytysjärjestelmä (GDCS) täyttää reaktorin vedellä. 4. Luonnonkiertoinen eristystilanteen lauhdutin (Isolation Condenser) poistaa lämmön suojaakuoren ulkopuolelle vesialtaaseen (I.C. Pool), joka höyrystyessään riittää vähintään 72 tunnin jäähdytykseen.

Em systeemit riittävät 10 tunnin ajaksi.

4. Eräissä tilanteissa reaktorissa höyrystyvä vesi tiivistyy luonnonkiertoisessa lauhdutuspiirissä jota vaihtoaltaan vesi jäähdyttää.
5. Paineistimen varoventtiilien ulospuhallushöyry lauhdutetaan vaihtoaltaan veteen.
6. Laitoksen teräsuojakuoren päälle säiliöstä painovoimalla valuva vesi jäähdyttää suojaakuorta siihen asti, että luonnonkiertoinen ilmajäähdytys riittää siirtämään jälkilämmön ympäristöön.

Eo. systeemit 1 ja 3—6 korvaavat nykyisten laitosten jatkuvan sähkönsyötön vaativia hätäjäähdytysjärjestelmiä. On helpo arvata, että nekään eivät toimi oikeassa järjestyksessä ilman muutamaa automatiikan pakko-ohjaamaa venttiiliä. Niinpä passiivisuuden käsitettä on pakko venyttää käsittämään esim. venttiilit, jotka vauriotilanteessa muuttavat yhden keran asentoaan. Passiivisuus tarkoittaa siis että jatkuvaa, turvattua voimavirran syöttöä hätäjäähdytysjärjestelmien pump-

puihin ei tarvita, kun ei ole näitä järjestelmiäkään.

General Electricin SBWR on luonnonkiertoinen kiehumusreaktori. Luonnonkiertoa ei ole käytetty thoreaktoreissa sitten ydinvoiman muinaisuuden koelaitosten. Luonnonkiertosta seuraa että mm. reaktoripaineastia 600 MW laitoksessa on hieman suurempi kuin nykyisissä 1300 MW laitoksissa. Sydämen tehoiteisuus on 42 kW/l verrattuna n. 50 kW/l nykyään. Turvallisuuteen liittymättömien prosessikomponenttien määrä vähenee 30—60 %. Turvajärjestelmien komponentit jäävät pois miltei kokonaan.

Passiiviset turvajärjestelmät ovat:

1. normaali lauhdutussojarakennus jossa on tavanomaisen pohjalla olevan ulospuhallusaltaan veden lisäksi ylempänä suuria vesisäiliöitä, jotka voidaan painovoimalla tyhjentää reaktoriin sen jälkeen kun reaktoripiiristä on päästetty tai vuotanut paine pois.
2. ylätasolla sijaitseva ns. erityislauhdutin suuressa vesialtaassa. Suojarakennuksen eristystilan aikana tämä luonnon-

kiertopiiri lauhduttaa reaktorin jälkilämmön kehittämän höyryn. Lauhde valuu takaisin reaktoriin. Altaan vesi riittää ainakin 72 tunniksi. Tämäkin laitos tarvitsee onnettomuustapauksessa venttiili-toimintoja, mutta ei jatkuvaa varavoimaa.

Em. tyypeistä ABB-Atomin PIUS eroaa periaatteessa siinä, että häiriötilanteissa reaktorisydän pysyy veden alla ilman mitään mekaanisia tai ohjaustoimintoja, ts. laitos on todella 100 % passiivinen.

Yhteenvetona voi todeta että passiiviset laitosuunnitelmat näyttävät jotenkin yksipuolisesti keskittyvän painovoimalla tapahtuvaan vedenvälittelyyn täydennettynä tiheyseroista johtuvalla luonnonkiertolla sopivassa lauhdutinpiirissä. Tavoitteena on vakavan sydänvaurion eli polttoaineen sulamisen välttäminen. Hintana on pienempi teho fyysisiltä mitoiltaan normaalikokoisista laitoksista, etuna pienempi mekaanisten komponenttien määrä sekä varavoiman tarpeen poisjääminen.

Tehtyjä onnettomuusanalyysyjä tuntematta on mahdoton sanoa paljonko loppujen lopuksi teoreettinen onnettomuustodennäköisyys pienenee verrattuna nykyisiin 3—4 kertaisilla turvapiireillä varustettuihin laitoksiin.

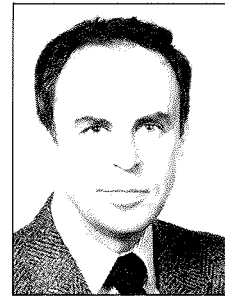
### Milloin passiivisia laitoksia?

Uudentyyppisten passiivisten laitosten mahdollinen kaupallinen läpimurto riippuu lähinnä niiden taloudellisesta kilpailukyvyistä. Niissä maissa joissa ydinvoimaa rakennetaan seuraavan 20 vuoden aikana tultaneen kyllä hyväksymään evoluutiolinjan isot laitokset. Todelliset markkinat keskikokoisille laitoksille ovat ja tullevat jäämään pieniksi. IAEA on tehnyt tästä toistuvia selvityksiä mm. kehittyvien maiden osalta.

Uudentyyppisten laitosten on lisäksi oltava huomattavasti evoluutiolaitoksia taloudellisempia siitäkin syystä, että samanhintaisista vaihtoehdoista voimayhtiöt ostavat mieluummin koetellun laitostyyppin. Jonkun olisi siis rahoitettava ensimmäiset laitokset. Kun markkinat ovat toiselta puolen epävarmat, suurvallatkin lienevät haluttomia satsaamaan suuria tutkimus- ja kehitysmäärärahoja näihin tyypeihin. Tästä noidankehästä pääsy on elinehto keskikokoisille passiivisille reaktoreille. Täysikokoiset (1000—1400 MW) selviäisivät ehkä loppujen lopuksi helpommin markkinoille. □

TkT Erkki Aalto toimii osastotason asiantuntijana Imatran Voima Oy:n ydinvoimatekniikan osastolla. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1966 ja oli Seuran johtokunnassa vuosina 1985-1988 ja Seuran puheenjohtajana vuosina 1986-1988. Puh. 90-5081.

# Plutonium, hyödytön myrkkyy vai ehtymätöntä energiaa



**Plutoniumiin liittyy omat riskinsä ja strategiset etunsa.**

**Haitat on teknisesti voitettävissä, mutta laajamittaiseen plutoniumin kierrätykseen ei ole riittävää taloudellista kiihoketta halpana pysyneen uraanin takia. Silti plutoniumin käyttö lisääntyy kevytvesireaktoreissa merkittävästi 1990-luvun kuussa.**

Pommitettaessa uraania neutroneilla saadaan aikaan sekä fissioita että plutoniumia. Syntyneet plutoniumityimet saadaan puolestaan myös halkeamaan neutronitörmäyksessä. Siksi plutonium on energialähde. Ja siksi siihen liittyvät radioaktiivisten säteilytuotteiden riskit. Raskasmetallina plutonium on myös kemiallinen myrkkyy.

Kun vuonna 1941 saatiin selville, että <sup>238</sup>U muuttuu neutronisäteilytyksen vaikutuksesta välillisesti <sup>239</sup>Pu:ksi, tuli myös ymmärrettäväksi, että plutoniumia täytyi syntyä luonnossa ilman ihmisen osuuttakin. <sup>238</sup>U esiintyy runsaasti ja vapaata neutroneja taas syntyy vaikkapa itse <sup>238</sup>U-ydinten spontaaneista hajoamisista tai kosmisen säteilyn aiheuttamista reaktioista. Maankuoren syntymisen aikaista <sup>239</sup>Pu:a ei taas voi löytää, koska sen puoliintumisaika on vain 24 000 vuotta. Sen sijaan hitaasti puoliintuvan <sup>244</sup>Pu:n jälkiä on löydetty vanhasta peruskalliosta.

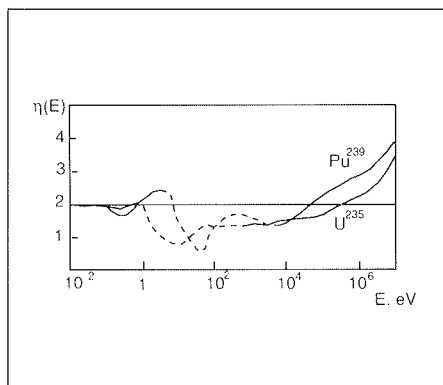
## Ominaisuudet

Puhtaasta plutoniummetallista ei olisi polttoaineeksi, sillä sen sulamispiste on vain 640°C ja se hapettuu helposti ilmassa tai vesihöyryssä. Polttoaineena käytetäänkin plutoniumdioksidia, jonka sulamispiste on 2390°C. Koska samassa polttoainesauvassa tai -kennossa on myös uraania, puhutaan sekaoksidipolttoaineesta (MOX). Tavalliseen kevytvesireaktoriin (LWR) ladattavassa MOX-polttoaineessa on plutoniumia alle 5 %, kun taas nopeissa reaktoreissa vastaava paino-osuus on 20 % luokkaa.

Oksidin ohella plutoniumia käsitellään suljetussa ydinpolttoainekierrrossa nitraattiyhdisteenä. Jälleenkäsittelyssä plutonium uutetaan nimenomaan nitraattina eroon uraanista ja fissiotuotteista. Plutonium varastoidaan kuitenkin oksidina.

## Isotooppikoostumus

Lukuunottamatta pieniä määriä <sup>236</sup>Pu ja <sup>238</sup>Pu, valtaosa reaktorisydämessä tuotetusta plutoniumista syntyy siis <sup>238</sup>U-ydinten kaapatessa neutroneja. Osa näin syntyvästä <sup>239</sup>Pu:sta muuttuu edelleen kaappausreaktioiden kautta korkeammiksi isotoopeiksi <sup>240</sup>Pu, <sup>241</sup>Pu ja <sup>242</sup>Pu. Parittomat isotoopit <sup>239</sup>Pu ja <sup>241</sup>Pu ovat halkeavia. Osa termisenkin reaktorin tehosta on lähtöisin näiden ydinten halkeamisista. Kaiken kaikkiaan plutoniumin in situ fissioiden osuus vastaa noin kolmannesta koko kevytvesireaktorin energiantuotannosta. Olenkin joskus väittänyt karrikoidusti, että plutonium on tärkein kotimainen polttoainemme.



Neutronituotto absorptiota kohden.

Neutronien suhteellinen absorptiotodennäköisyys eri ytimiin vaihtelee palaman funktiona  $1/\lambda$ . Tavallisessa kevytvesihillassa <sup>239</sup>Pu absorboi jo 20 000 MWd/t suuremmilla palamilla enemmän neutroneja kuin <sup>235</sup>U.

Jos verrataan näiden kahden polttoaineytimen absorptiota kohti tuottamaa neutronimäärää, <sup>235</sup>U on etusijalla termalisoituneiden neutronien spektrialueella, kun <sup>239</sup>Pu on taas parempi nopeiden reaktoreiden polttoaineena.

*Plutoniumin koostumuksen riippuvuus tuoreen polttoaineen ominaisuuksista, prosenttiosuudet suhteessa Pu + <sup>241</sup>Am-määrään (OECD, 1989).*

Jakso		<sup>236</sup> Pu	<sup>238</sup> Pu	<sup>239</sup> Pu	<sup>240</sup> Pu	<sup>241</sup> Pu	<sup>242</sup> Pu	<sup>241</sup> Am/ (Pu + <sup>241</sup> Am)
Väkevöinti <sup>235</sup> U/U	Palama GWd/t	ppm		%	%	%	%	ppm
3,25 %	33	12	1,26	56,62	23,18	13,86	4,73	3 500
3,70 %	43	15	1,97	52,55	24,09	14,73	6,22	4 400
4,40 %	53	20	2,74	50,37	24,15	15,16	7,06	5 100

Käytetyn polttoaineen sisältämän plutoniumin isotooppikoostumus riippuu paitsi tuoreen polttoaineen väkevöinnistä myös neutronien energiaspektristä ja sydämesäoloajasta  $1/2$ . Käytännössä 1000 MW kevytvesireaktori tuottaa vuodessa noin 170 kg halkeavaa plutoniumia.

Plutoniumin arvo LWR:ssa käytettynä laskee ajan myötä käytetyn polttoaineen reaktorista ottamisen jälkeen. <sup>241</sup>Pu:sta muodostuu betahajoamisen kautta <sup>241</sup>Am, joka on voimakas gammasäteilijä. Tästä syystä ikääntyneen plutoniumin käsittely on tuoretta plutoniumia hankalampaa. <sup>241</sup>Am on erotettava varastoituna olleesta plutoniumista ennen MOX-polttoaineen valmistusta.

## Haitat

Kaupallisen polttoainekierron yhteydessä plutoniumia saattaa joutua ihmiseen tai luontoon lähinnä vain MOX-polttoaineen valmistuksen tai jälleenkäsittelyn yhteydessä. Liukeneminen käytetyn polttoaineen haudasta on lähinnä vain hypoteettinen altistustapa. Suurin riski koituu alfa-hiukkasista, joita <sup>238</sup>Pu, <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu ja <sup>241</sup>Am säteilevät.

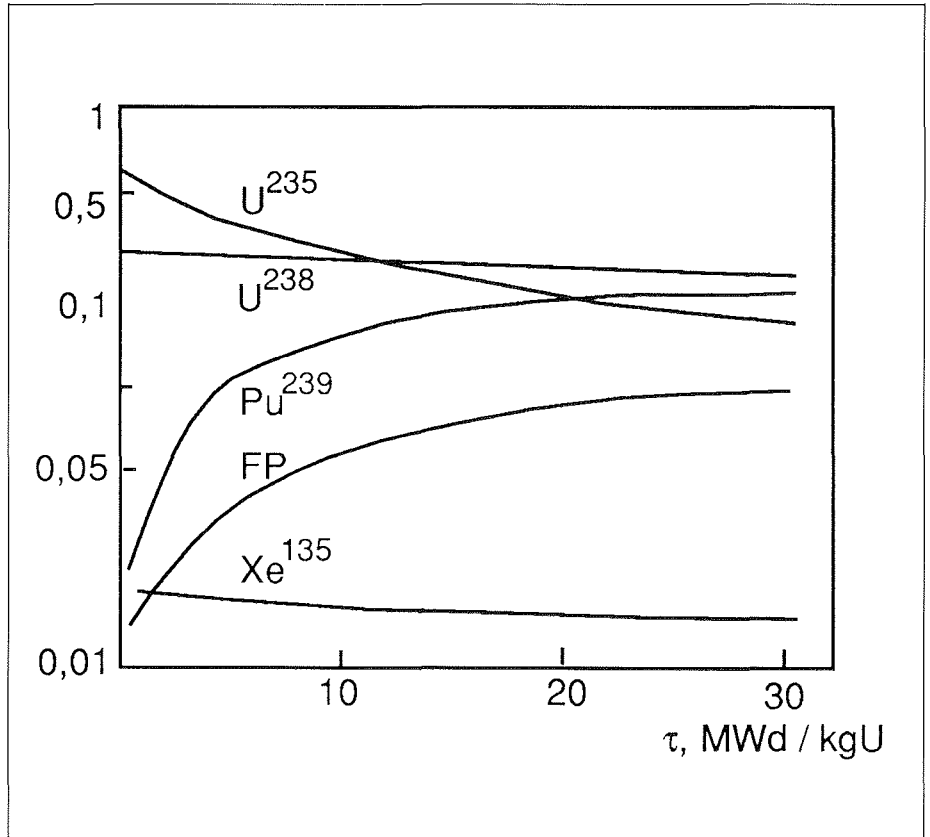
Näillä plutoniumisotoopeilla on periaatteessa kolme tapaa päästä ihmiseen: hengitys, ruoan mukana tai haavojen kautta. Hengitystie tulee kysymykseen lähinnä hienojakoista plutoniumdioksidijauhetta käsiteltäessä. Nämä liukenemattomat hiukkaset jäisivät keuhkoihin. Plutoniumnitraatti puolestaan liukenee ja voisi siten siirtyä verenkiertoon, missä se kerääntyisi pääosin luuytimeen ja maksaan. Osa ruoansulatukseen joutunutta plutoniumia voi myös siirtyä verisuonistoon tällä tavoin. Tältä osin kriittinen ryhmä on jälleenkäsittelylaitosten ympäristön mereneläimien syöjät.

Todellisuudessa plutoniumista koitua säteilyriski voidaan rajata tavanomaisin sä-

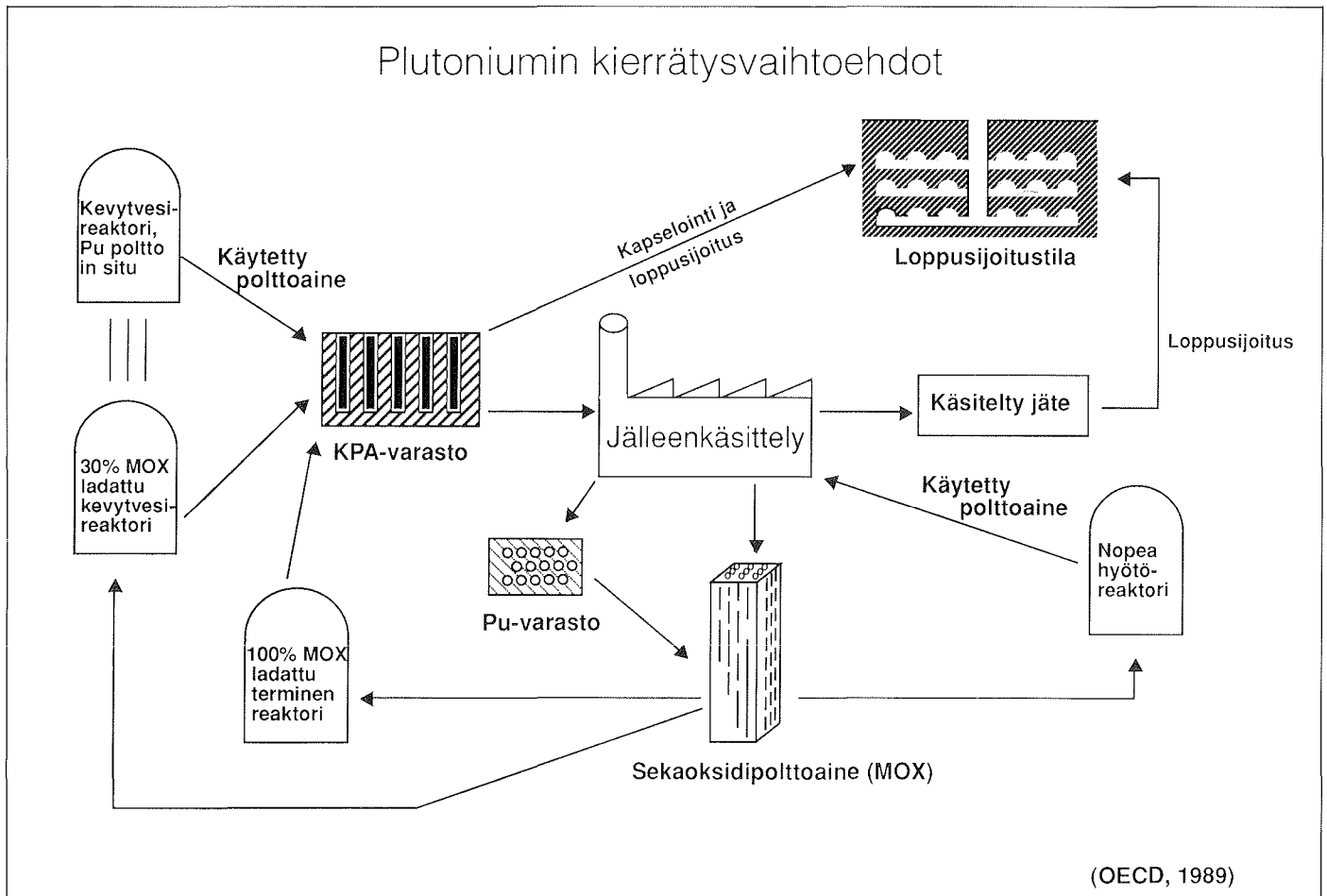
teilysojelutoimin. Sitä käsittelevien laitteiden työntekijöiden kokovartaloaktiivisuus on alle 1/1000 akuutteja vaikutuksia aiheuttavasta tasosta /2/. Ruoan mukana elimistöön joutunut plutonium vastaa tavallaan monia tavanomaisia myrkyjä kuten arsenikkia tai syanidia, joskin se on vähemmän toksinen. Hengityselimiin joutunut plutonium on myrkyinä taas jokseenkin samanlainen kuin mikä tahansa muu ilmaan sekoittunut raskasmetalli, esimerkiksi kadmium tai elohopea.

Mitä enemmän ja mitä puhtaampaa plutoniumia maailmassa liikutellaan, sitä merkittävämpi on tietenkin riski plutoniumin joutumisesta ydinräjähteisiin. Sekä MOX-polttoaineita valmistavia tehtaita että jälleenkäsittelylaitoksia on kuitenkin maailmassa vain yksittäisiä, eikä valvonta ole tässä mielessä ongelma. Ydinräjähdettä haluava valtio tai ryhmä voi aina löytää kaupallista ydinpolttoainekiertoa helpomman ja halvemmän tien tavoitteeseensa pääsemiseksi.

Valppaus on kuitenkin aiheellista, sillä uudet väkeväinti- ja erotusmenetelmät saattavat ainakin teoriassa muuttaa tilannetta. Uraanin osalta ollaan menossa lasersväkeväintiin, joka perustuu metallihöyryssä aikaansaatuviin viritystiloihin. Mieleen nousee yksinkertainen kysymys: Eikö plutoniumia voisi väkeväidä  $^{239}\text{Pu}$ -isotoopin suhteen samalla periaatteella?



Absorptio-osuudet palaman funktiona (FP = fissiotuotteet).



## Kierrätysstrategia

Ydinpolttoainestrategiana on 1950-luvulta asti ollut käyttää kevytvesireaktoreita todetun uraanivarojen puitteissa ja siirtä nopeasti hyötöreaktoreihin. Nopeita reaktoreita piti aluksi käynnistämällä sitä vauhtia kuin termiset reaktorit syöttävät niihin plutoniumia. Nopeiden reaktoreiden tulo on kuitenkin viivästynyt. Syy on osaksi siinä, että ydintehoa ei ole rakennettu aina 1970-luvun loppuun asti kaavailtuun tahtiin, joten uraanista on jo pitkään ollut ylitarjontaa. Toisaalta tekniikka on vaikeaa ja kustannukset pysyvät korkeina, koska sarjatuohtaan ei ole päästy. Siksi nopea reaktori ei ole taloudellisesti kilpailukykyinen kevytvesireaktorin suhteen.

Plutoniumia syntyy kuitenkin tasaista tahtia, ja sen erottamiseen tarvittavaa jälleenkäsittelykapasiteettia on tarjolla kaupallisilla ehdoilla, tosin rajoitetusti. Ranskan, Englannin ja Japanin jälleenkäsittelykapasiteetti tuottaa nimellisteholla noin 10-15 tonnia plutoniumia vuodessa. Vuoteen 2000 mennessä tulee erotettua plutoniumia kertymään noin 200 tonnia. Siihen mennessä pystyttäneen jälleenkäsittelymään enintään 20 000 tonnia käytettyä polttoainetta koko kertymän ollessa luokkaa 150 000 tonnia.

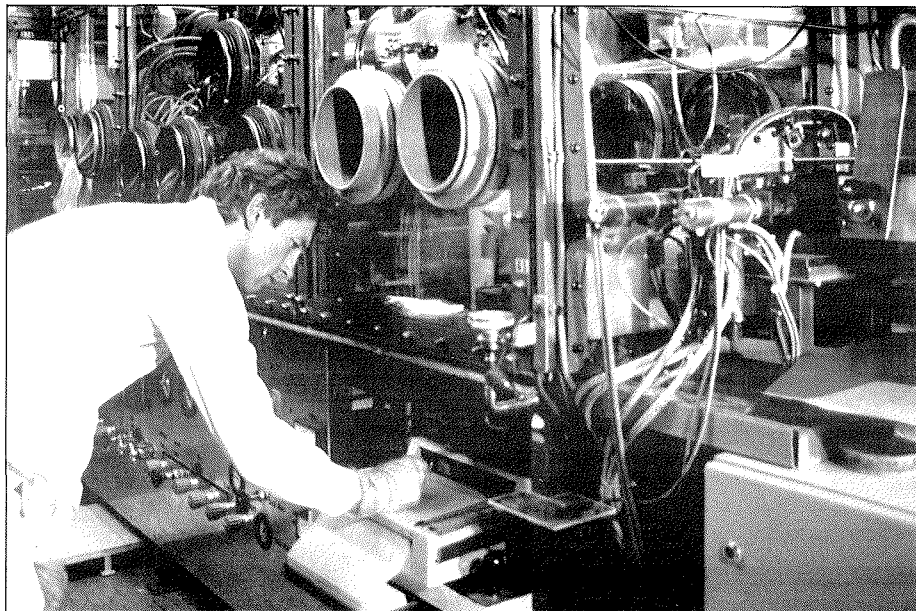
Lyhyen ja pitkän tähtäimen edut ovat ristiriidassa. Lyhyellä tähtämällä ei plutoniumia tarvittaisi, pitkällä aikavälillä kestävä ydinenergiastrategia edellyttää myös  $^{238}\text{U}$ :n ja siten plutoniumin hyväksikäyttöä. Se tapahtuisi edullisimmin nopeiden reaktoreiden avulla.

Erotetun plutoniumin käyttö kevytvesireaktoreissa, mieluiten vielä nykyisiä tehokkaammin plutoniumia hyödyntävissä, on tekninen ja logistinen vastaus nopeiden reaktoreiden viivästyisestä ja korkeista plutoniumin varastointikustannuksista aiheutuviin ongelmiin. Nythän pitäisi, paitsi säästää plutoniumia nopeiden reaktoreiden alkulatauksiin, käyttää hyväksi olemassaolevaa jälleenkäsittelykapasiteettia.

## Talous

Edellä kuvattu pragmaattisen ja strategisen ajattelutavan ristiriita heijastuu myös plutoniumin käytön kannattavuuslaskelmiin. Pragmaattisen linjan parhaita marginaaliesimerkkejä on Suomi. Eräissä viimeaikaisissa TVO:n selvityksessä on arvioitu, että heidän kannaltaan jälleenkäsittelytuotteiden arvo on alle USD 100 polttoainekiloa kohti. Jälleenkäsittelyn hinta on puolestaan noin USD 1000 kilolta. On siis edullisempaa varastoida käytetty polttoaine.

Plutoniumin käytön strategisen linjan hyvä marginaaliesimerkki on Belgia, jossa on sekapolttoaineen tuotantoa. MOX-valmistajan ja käyttäjän kannalta plutonium on ilmaista, koska sen erottamisen kustannukset on jo sälytetty sen tuottaneen



Sekaoksidipolttoaineen valmistusta (Belgonuclear).

reaktorin polttoaine- ja jätehuoltokustannuksiin. Koska käytetyn uraanipohjaisen polttoaineen ja käytetyn MOX-polttoaineen hoitokulut ovat karkeasti ottaen samat, MOX-polttoaineen valmistus ja käyttö kannattavat, mikäli MOX-polttoaineen valmistuskustannus ei ylitä uraanipolttoaineen raakauraanin, konversio- ja väkevöintikustannuksia. Nämä kustannukset ovat yhteensä hieman alle USD 1000/kg U tuoreelle polttoaineelle. Tähän hintaan voidaan MOX:ia valmistaa.

Ratkaistun kannattavuusytälön toinen juju piilee siinä, että MOX-polttoaineen valmistukseen käy erinomaisesti luonnonuraaniin nähden  $^{235}\text{U}$  suhteen laimennettu, ja siten  $^{238}\text{U}$  osalta väkevöity uraani, jota on saatavilla lähes ilmaiseksi väkevöintilaitoksen jäännevirrasta tai -varastosta.

Neutraali tapa kannattavuuslaskelman suorittamiseksi olisi tarkastella laajempaa ydinenergiajärjestelmää, jossa joko pyritään tai ei pyritä antamaan fissioenergialle strateginen rooli maailman energiaongelmien ratkaisussa ja  $\text{CO}_2$ -pitoisuuden kurissapitämiseksi riittävän pitkään ennen riskittömämpien energiamuotojen saamista laajamittaiseen käyttöön. Näissä tapauksissa voidaan halkeavalle plutoniumille laskea indifferenssiarvo. Monin hintalettamuksin, joista jokainen sisältää epävarmuuksia, on OECD:n tuoreehkossa raportissa päädytty lukuarvoon USD 12.5 halkeavaa plutoniumgrammaa kohti. Tarkistin, että 15 vuotta sitten vallinneilla oletusarvoilla päädyin arvoon USD 7/g  $\text{Pu}$ , käyvän rahanarvon mukaan laskien.

## Tulevaisuus

Plutoniumin käyttö tulee pakosta painotumaan lähivuosina kevytvesireaktoreihin. Koeohjelmia on ollut käynnissä jo 1960-luvulta lukien. Laadimmepa Suomessakin yhdessä H. Kaikkosen kanssa

1970-luvun alkupuolella suunnitelman Loviisan reaktorin lataamiseksi kolmannen plutoniumia sisältävällä polttoaineella. Varteenotettavin ohjelma on nyt meneillään Ranskassa, missä on suunniteltu käytettävän 100 tonnin vuotuisia MOX-polttoainemääriä 1995 mennessä. Valittuihin painevesireaktoreihin ladattaisiin sekapolttoainetta 30 % kustakin laukausta. Tarkoituksena on jälleenkäsitellä käytetty MOX sekoittamalla se tavallisen käytetyn uraanipohjaisen polttoaineen kanssa.

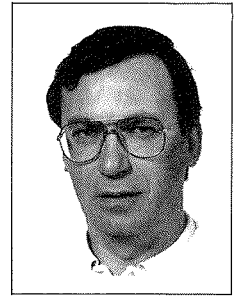
Nopeiden reaktoreiden lippulaiva Superphénix on ollut vuoden pysähdyksissä teknisten vaikeuksien vuoksi. Natriumpiiriin oli päässyt happea. Laitos pyritään kuitenkin käynnistämään pian. Kehityspanos kohdistuu parhaillaan Länsi-Euroopan maiden yhteishankkeeseen, jonka perusrakentamisessa tullaan ottamaan oppia Superphénixistä.

Plutoniumin laaja hyötykäyttö kangertele siis edelleen, joskin lupaukset ovat vielä perustellusti voimassa. On kyse innovaatiosta isolla lillillä. Vaikeutena on lähinnä ollut, että kalliin kehitystyön tuloksia ei ole onnistuttu kokeilemaan käytännössä läheskään tarvittavassa laajuudessa. Jotta näin voitaisiin tehdä, yleisen suhtautumisen ydinvoimaan tulisi muuttua myönteisemmäksi. □

Professori Pekka Silvennoinen on VTT:n energiatekniikan tutkimusosaston johtaja. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1973. Puh. 90-4564140.

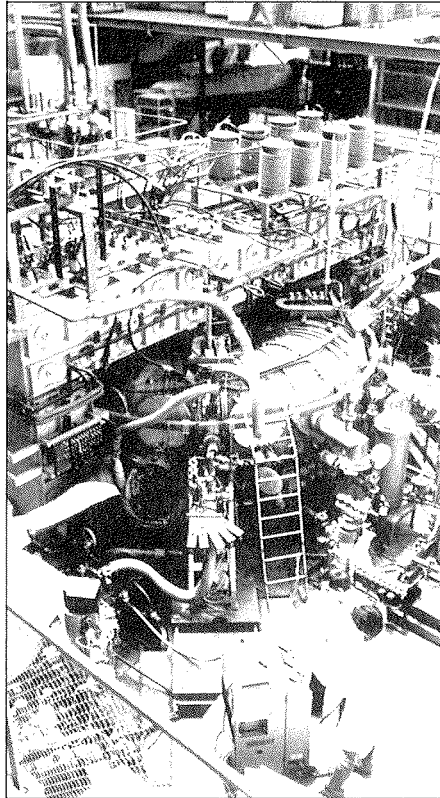
## Lähdekirjallisuus

1. P. Silvennoinen, Reactor Core Fuel Management, Pergamon Press, Oxford, 1976
2. Plutonium Fuel, An Assessment, OECD, Paris, 1989



# Onko fuusio lopullinen ratkaisu maailman energiahuoltoon?

*Rauhanomainen fuusioenergia-tutkimus on jatkunut tiiviinä 50-luvulta lähtien. Fuusioenergian tuottaminen on osoitettu mahdolliseksi, sillä reaktioiden vaatimat äärimmäiset olosuhteet on pystytty luomaan ja kuuman polttoaineplasman koossapito on pääosin ratkaistu. Tutkimuksen painopiste on siirtymässä fysiikasta fuusiotekniikkaan. Kansainvälinen yhteistyö on ollut tuloksellista ja sen merkitys tulee edelleen kasvamaan ITER-hankkeen myötä. Fuusiolla on erinomaiset mahdollisuudet ratkaista energiakysymys lopullisesti. Milloin tämä tapahtuu, riippuu tutkimuksen laajuudesta ja sen saamasta rahoituksesta sekä muiden energialähteiden kohtalosta.*



Lectrop: The Nuclear Age

Kevyiden atomiydinten sulautuminen eli fuusio on eräs maailmankaikkeuden perusreaktioista. Energiantuoton lisäksi tähtien sisuksissa tapahtuvat fuusioreaktiot vastaavat alkuainesynteesistä, jossa syntyvät vetyä raskaammat alkuaineet aina rautaan saakka. Poikkeuksena on helium, josta suurin osa syntyi heti alkuräjähdyksen jälkeen. Auringon fuusioreaktiot ylläpitävät elämää maapallolla. Myös lähes kaikki ihmisen käyttämät energialähteet, kuten fossiiliset polttoaineet, vesi- ja tuulivoima sekä auringon säteily, ovat epäsuorasti auringon fuusiosta peräisin. Fuusiosta riippumattomina energialähteinä voidaan pitää vain fissiota, vuorovesivoimaa ja geotermistä energiaa, joskin näissäkin on etäinen kytkentä fuusioon.

## Fuusiotutkimuksen alkutaival

Kokeellisen fuusiotutkimuksen alkuhistoria lähtee 1930-luvun alkupuolelta, jolloin Urey, Brickwedde ja Murphy (1) löysivät vedyn raskaan isotoopin deuteriumin (D). Paria vuotta myöhemmin 1934 Ernst Rutherfordin johtama ryhmä teki törmäytyskokeita deuteroneilla ja havaitsi uuden vetyisotoopin tritiumin (T), jota ilmaantui deuteronien energiaa lisättäessä (2,3). Aiemmin Atkinson ja Houtermans

(4) olivat ehdottaneet kevyiden ytimien fuusioreaktioita auringon ja tähtien energialähteeksi. Vasta vuonna 1939 Hans Bethe (5) pystyi selittämään auringossa tapahtuvan reaktioketjun protoni-protoni-fuusiosta lähtien ja vähitellen myös tähtitieteilijät hyväksyivät fyysikkojen "hullut" ideat ydinreaktioiden roolista astrofysiikassa.

Edward Tellerin mukaan Fermi oli vuonna 1942 ehdottanut hänelle deuteriumin fuusiota energialähteeksi. Teller teki Konopinskin kanssa laskelmia, jotka osoittivat aluksi fuusion toivottomaksi. Myöhemmin he havaitsivat ensimmäiset arviot virheellisiksi ja osoittivat, että erityisesti deuterium-tritium-fuusio olisi käyttökelpoinen energialähteenä ja soveltuisi myös ydinräjähteeksi. Ajan henki toi sotilassovellukset päällimmäisiksi ja intensiivinen vetypommin kehittämisohjelma Tellerin ajamana käynnistyi sodan jälkeen. Ensimmäinen fuusiokoeräjäytys "George" suoritettiin vuonna 1951 ja sitä paljon voimakkaampi "Mike" seuravana vuonna. Neuvostoliitto seurasi Kurchatovin ja Sakharovin johdolla nopeasti perässä.

Hallitun fuusioenergian järjestelmällinen tutkimus alkoi suurvaltojen laboratoriois-

Kurchatov instituutissa Moskovassa sijaitseva Tokamak 7.

sa 50-luvun vaihteessa. Lyman Spitzerin aloitteesta rakennettiin Princetonissa ensimmäiset stellaraattorit, Los Alamosissa J. Tuck käynnisti pinnettutkimuksen lineaarisilla laitteilla ja R.F. Post vastasi peilikonetutkimuksesta Livermore laboratoriossa. Plasmaa kurovan pinneimion (pinch), johon myös tokamakit perustuvat, keksi Bennett jo 30-luvun puolivälissä (6). Plasman magneettiseen koossapitoon perustuvalla fuusiolla ei ollut suoranaisia asosovellutuksia. Se pidettiin kuitenkin salaisena<sup>1</sup>, koska deuterium-tritium-fuusio olisi erinomainen neutronilähde ydinase materiaalien valmistukseen. Erityisesti lineaariset pinnet (Z-pinch) tuottivat neutroneja. Ne eivät kuitenkaan olleet lämpöydinreaktioista peräisin, sillä plasman lämpötila oli paljon vaadittua alhaisempi. Myöhemmin neutronien alkuperäksi on paljastunut epästabiliisuuksien hetkellisesti tuottamat energieettiset ionit, joilla nettoenergian tuottaminen ei onnistu.

## Tutkimuksen vapauttaminen

Vuoteen 1955 mennessä magneettisen fuusion perusvaikeudet olivat käyneet selviksi ja toisaalta fissioon perustuvat neutronilähteet toimivat riittävän hyvin, joten rauhanomaisen fuusiotutkimuksen julkistamiselle oli luotu edellytykset. Akateemikko Igor Kurchatov vieraili 1956 Harwellissa ja paljasti esitelmässään Neuvostoliiton pinnettutkimukset, mikä edesauttoi myös USA:n magneettisen fuusiotutkimuksen julkistamista. Vapaa kansainvälinen fuusiotutkimus alkoi todenteolla vuoden 1958 Geneven konferenssissa **2nd International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy**, jossa Englanti, Neuvostoliitto ja Yhdysvallat julkaisivat magneettiseen fuusioon perustuvat tutkimustuloksensa. Geneven konferenssista lähtien on kansainvälinen yhteistyö fuusiotutkimuksessa ollut erittäin merkittävässä asemassa.

Polttoaineen inertiakoossapitoon perustuva hiukkassuihku- ja laserfuusio julkistettiin osittain vasta 70-luvun alussa, ja

<sup>1</sup>Yhdysvaltojen magneettista fuusiotutkimusta kutsuttiin "Sherwood"-projektiiksi. Vaikkeuksien ilmaantessa tästä syntyi vakiofraasi: It "sher wood" be nice if it worked". Sherwood-konferenssien sarja (Fusion Theory) on jatkunut vuodesta 1952 aina tähän vuoteen saakka.



edelleenkin fuusiokohtioiden ja epäsuoran röntgenkompression yksityiskohtat ovat klassifioituja. Tämä on tutkimustyölle selvä rasite ja estää tehokkaan kansainvälisen yhteistyön inertiaalikoossapidon alalla.

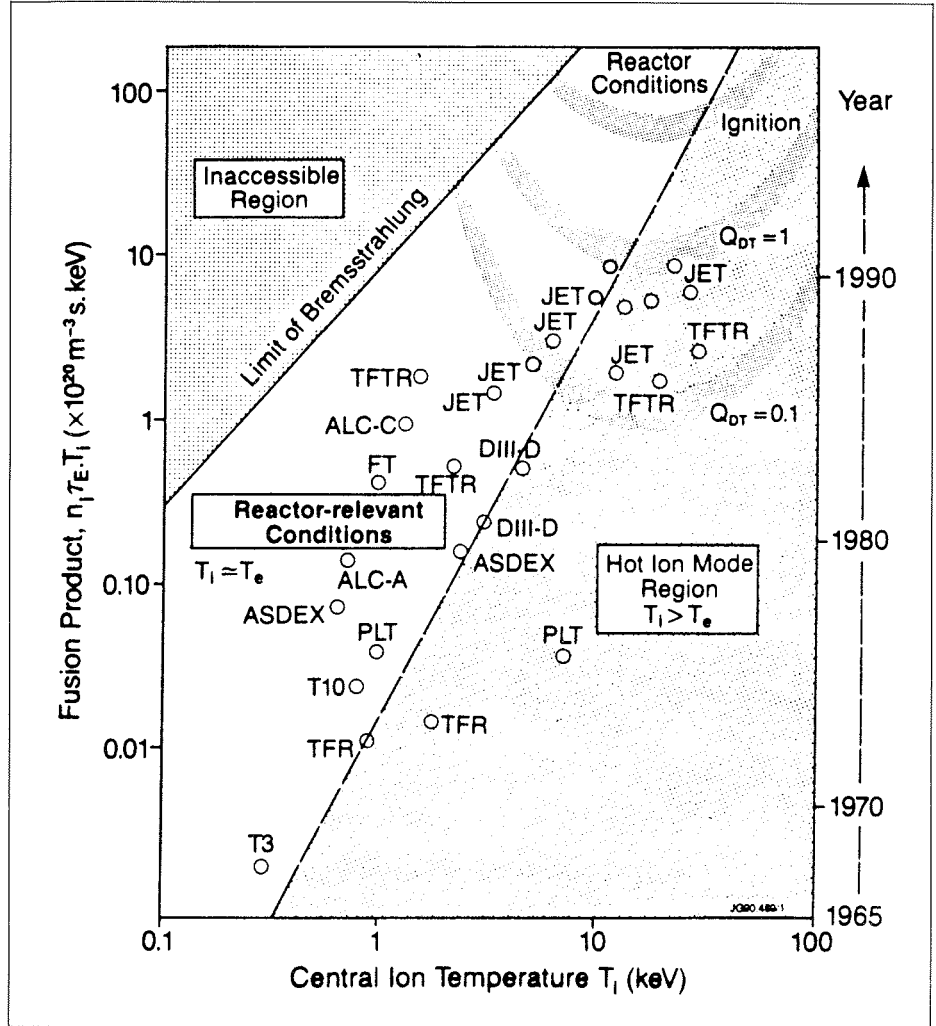
### Tokamakien läpimurto

1960-luvun puoliväliin mennessä oli stellaraattoreilla, linearisilla pinneillä ja peilikoneilla saavutettu verraten vaatimatonta edistystä. Anomaalisen suuria häviöitä ei ymmärretty ja laitteiden suorituskyky, joka oli fuusiotulolla mitaten yli kuusi kertalukua reaktoritason alapuolella, parani vain pienin askelin. Tokamak astui kuvaan juuri oikeaan aikaan.

Igor Tamm ja Andrei Sakharov [7] esittivät tokamakin perusidean (ts. virran ajama toroidaalinen pinne) salaisessa raportissa jo vuonna 1950. Heidän hahmottelemansa deuterium-reaktori muistuttaa dimensioiltaan ja plasmaparametreiltaan hämmästyttävän paljon nykyisiä reaktori-kaavaailuja [8]. Ensimmäiset tokamak-kokeet tehtiin Kurchatov Instituutissa Moskovassa Yavlinskyn ja Artsimovichin johdolla. Alustavat tulokset julkaistiin toisessa IAEA:n fuusiokonferenssissa, joka pidettiin Culhamissa 1965. Seuraavana vuonna alkoi syntyä erinomaisia tuloksia, joista raportoitiin seuraavassa IAEA:n konferenssissa Novosibirskissä 1968. Kurchatov Instituutin pieni T3 tokamak ylitti moninkertaisesti Princetonin suuren C stellaraattorin suoritustason. Tokamakien hyvää suorituskykyä epäiltiin aluksi lännessä, mutta tulokset osoittautuivat oikeiksi Culhamin tutkijaryhmän vierailun ja tarkistustulosten jälkeen. Tästä alkoi tokamakien valtakausi fuusiotutkimuksessa ja eri kokoisia tokamakeja on rakennettu useita kymmeniä eri puolilla maailmaa. Esimerkiksi Princetonin C stellaraattori muutettiin nopeasti tokamakiksi ja uudet tulokset — lämpötila ja koossapito — olivat tuntuvasti parempia. Voittokulku jatkuu edelleen, sillä laitteistojen suurentuessa ja tehostuessa tokamakien tulostaso on pystytty tasaisesti parantamaan.

### Kohti breakeven-kokeita

Fuusiolaitteen suorituskykyä relevantilla lämpötila-alueella (yli 10<sup>7</sup>K) kuvaa hyvin yksi parametri nk.fuusiotulo, joka on polttoaineen tiheyden, energian koossapitoajan ja lämpötilan<sup>2</sup> tulo. Energian koossapitoaika määritellään plasman termisen energian ja plasmaan syötetyn tehon suhteena, joten se kuvaa plasman jäähtymisnopeutta. Fuusiotulon arvo oli 1970-luvun alussa vielä vaatimattomasti alle 10<sup>18</sup> m<sup>-3</sup>skeV, kun se tällä hetkellä on luokkaa



10<sup>21</sup>m<sup>-3</sup>skeV. Siihen on yltänyt Euratomin JET tokamak (Joint European Torus) ja lähes samalle tasolle on päästy myös Princetonin TFTR tokamakilla (Tokamak Fusion Test Reactor). Arvo vastaa deuterium-tritium-plasman breakeven-tasoa, jolloin plasman fuusioteho ylittää tarvittavan kuumennustehon. Kyseisen yksinkertaisen ehdon koossapidolle ja lämpötilalle nettoenergian tuottamiseksi esitti John Lawson jo 50-luvulla [9]. Reaktorissa fuusiotulon tulee olla noin tekijän viisi suurempi. Tällöin fuusiopalo ylläpitää itsensä eli syttyy eikä ulkoista kuumennusta enää tarvita.

Fuusiotutkimuksen tieteellinen päämäärä — fuusio-olosuhteiden luominen — on kiistatta saavutettu jo nykypolven laitteilla. Lähivuosien kokeet keskittyvät plasman puhtauden parantamiseen, sillä plasmakamion sisävuorauksesta höyrystyvät epäpuhtaudet saastuttavat plasman estäen jatkuvan tilan syntymisen. Ongelmasta päästäneen vuorauksen aktiivisella jäädytyksellä ja epäpuhtauksien kuorinnalla erityisillä divertorikentillä. JET:n divertorikokeet alkavat lähivuosina. JET:ssa ja TFTR:ssa tullaan kokeilemaan myös deuterium-tritium-plasman polttoa, jolloin termiseksi fuusiotehoksi arvioidaan 15—30MW.

*Eri tokamakien fuusiotulo  $n_e T_e T_i$  keskustan ioni-lämpötilan  $T_i$  funktiona. Parhaat tulokset on saavutettu Euratomin JET tokamakilla. Kuvassa nähdään myös kehitys vuosien kuluessa ja ensimmäisen tokamakin T3 suorituskyky. Kuvassa esitetyt tokamakit maittain ovat: Eurooppa (JET); Italia (FT); Neuvostoliitto (T3 ja T10), Ranska (TFR); Saksa (ASDEX) ja Yhdysvallat (PLT, ALC-A, ALC-C, DIII-D ja TFTR).*

### Koereaktorit yhteisvoimin

Seuraavan polven tokamak-reaktorien suunnittelu on jo pitkällä. Niiden päämääränä on osoittaa fuusion teknis-taloudellinen toteutettavuus. Merkittävimmät hankkeet ovat Euratomin NET (Next European Torus) ja ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), jonka suunnittelussa ovat mukana Euratom-maat, Japani, Neuvostoliitto ja Yhdysvallat. Näistä ITER:n toteutuminen on tällä hetkellä todennäköisempi. ITER:n alustava suunnittelu ja projektin määrittely on saatu päätökseen ja yksityiskohtainen suunnittelu on alkamassa. Rakentamis päätös tehdään 2—3 vuoden kuluessa. ITER:n rakennuskustannuksiksi on arvioitu lähes 5 miljardia dollaria. ITER sisältää kaikki täysimittaisen reaktorin toiminnot ja se varustetaan suprajohtavilla magneeteilla jatkuvaa toimin-

<sup>2</sup>lämpötila ilmaistaan usein energiayksiköissä: 1 eV vastaa 11605 K.

taa silmälläpitäen. Tavoitteena on plasman sytyttäminen ja hallitun fuusiopalon ylläpitäminen. Terminen fuusioteho on 1000MW:n luokkaa, jota pidetään suunnittelun lähtökohtana.

ITER:stä saatava tietopohja ei yksin riitä täysimittaisen demonstraatiovoimalan rakentamiseen. ITER:in kanssa rinnakkaisia plasman palokokeita ja materiaalien testaukseen tarvittavaa fuusioneutronilähdettä pidetään välttämättöminä. Ne ovat toteutettavissa joko kansallisina hankkeina tai kansainvälisenä yhteistyönä. Nämä olisivat huomattavasti pienempiä, yksipuolisempia ja tekniikaltaan konservatiivisempia kuin ITER, joten niiden rakennuskustannukset jäisivät selvästi alhaisemmiksi.

ITER-polven koetoiminta alkaa 2000-luvun alkuvuosina ja ohjelman läpivieminen tulee viemään vähintään 15 vuotta. Siten täysimittaiset DEMO-voimalat ovat todellisuutta aikaisintaan 2020-luvulla ja kaupallinen fuusioenergian tuotanto voi käynnistyä vasta 2040-luvulla. Aikataulun kiristäminen on mahdollista vain, jos plasman koossapitotekniikassa tapahtuu merkittäviä läpimurtoja, mitkä tekisivät mahdolliseksi fuusiopalon ylläpitämisen pienillä ja joustavilla laitteilla. Leveällä rintamalla tapahtuva rinnakkainen tutkimus- ja kehitystyö voisi johtaa nopeampaan fuusioenergian käyttöönottoon.

### Fuusion potentiaali lopulliseksi ratkaisuksi

Fuusiolla on erinomaiset edellytykset lopulliseksi ratkaisuksi maailman energiahuoltoon. Rajattomat polttoainevarat, päästötön energiantuotanto ja suuri tehotehitys ovat etuja, joita muissa energiamuodoissa ei ole. Päinvastoin kuin fission radikaalivirtaus ei ole olennainen osa fuusiota ja sen tasoon voidaan vaihtaa reaktorin suunnittelussa.

Ensimmäisen polven fuusioreaktoreissa polttoaineena käytettävä tritium on radio-myrrykkynä lievä ja laimenee ympäristöön jouduttuaan nopeasti. Tritium ei myöskään kerry elimistöön. Sitä voidaan valmistaa litiumista fuusioneutroneilla ja siksi tritiumin käsittely rajoittuu itse voi-



JET:n (Joint European Torus) vihkiäisissä oli läsnä arvovaltainen kutsuvierasjoukko huhtikuussa 1984.

malaitokseen. Koska fuusioneutronit tarvitaan tritiumin valmistukseen, fission materiaalin valmistus fuusioreaktorissa ei tule kyseeseen. Siten fuusio ei lisää ydin-ase materiaalien leviämistä. Fuusioituaan deuteriumin kanssa tritiumista syntyy heliumia, joka ei ole radioaktiivista ja on kemiallisesti harmittomin mahdollinen jäte. Helium-tuhkaa syntyy fuusiovoimalassa vaatimattomasti alle 10 µg/kWh.

Radioaktiivista jätettä fuusiovoimalassa syntyy vain aktivoituneiden reaktorirakenteiden muodossa. Fuusioneutronit aiheuttavat reaktorin sisärakenteiden aktivoitumista. Aktiivisuuden taso ja sen puotamisnopeus riippuvat hyvin herkästi materiaalivalinnoista. Uusilla ferriittisillä teräksillä ja keraamisilla materiaaleilla, joissa vältetään voimakkaasti aktivoituvia seosaineita, on mahdollista päästä eroon kokonaan pitkäaikaisesta radioaktiivisten aineiden varastoinnista. Samalla harvinaisten reaktorimateriaalien kierrätys ja uudelleen käyttö yksinkertaistuisi merkittävästi. Kehitystyö fuusioreaktoriin soveltuviin heikosti aktivoituvien materiaalien osalta on todenteolla vasta alkamassa.

Pitkällä tähtäimellä deuterium-tritium-reaktio pystyttäen korvaamaan puhtaalla deuterium- ja D<sup>3</sup>He-reaktioilla ja tritiumin käytöstä voidaan luopua. Myös neutronikysymys helpottuu, sillä neutronivuo vähenee ja energiaspektri pehmenee huomattavasti deuterium-tritium-fuusioon verrattuna. Erityisesti D<sup>3</sup>He-fuusiossa ei synny suoraan neutroneja lainkaan, vaan ne ovat peräisin sekundäärisistä deuterium-reaktioista.

Ensivaiheessa fuusion hyödyntäminen jää teollistuneiden maiden etuoikeudeksi. Suuret pääomatarpeet ja huipputeknologian taitamattomuus hidastavat fuusion käyttöönottoa kehitysmaissa. Pitkällä satojen vuosien aikajänteellä fuusioenergia on kestävä ratkaisu ja sillä on erinomaiset edellytykset vastata merkittävästä osasta keskitettyä sähköntuotantoa koko maailmassa. □

TkT Seppo Karttunen on VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion erikoistutkija. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1977. Puh. 90-4561.

Taulukko. Euratomin JET tokamakin ja ITER koereaktorin tärkeimmät laiteparametrit. Suluisa olevat arvot ovat arvioita tulossa oleville JET:n deuterium-tritium-kokeille.

	JET	ITER
Plasman pääsäde	3.0 m	6.0 m
Plasman pikkusäde	1.2 m	2.15 m
Poikkipinnan elliptisyys	1.6	2.0
Toroidaalikenttä keskustassa	3.4 T	4.85 T
Plasmavirta	7 MA	22 MA
Terminen fuusioteho	(30 MW)	1000 MW
Ensiseinän neutronikuorma	(~0.1 MW/m <sup>2</sup> )	1 MW/m <sup>2</sup>

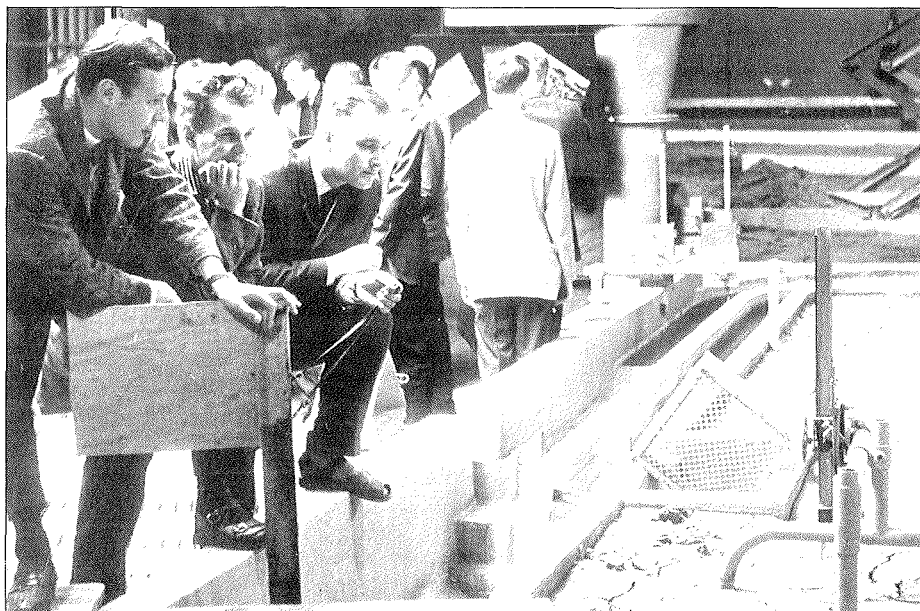
### Lähdekirjallisuus

- [1] H.C.Urey, F.G.Brickwedde ja G.N.Murphy, Phys.Rev.39 (1932) 164.
- [2] E.Rutherford, Science 80 (1934) 221.
- [3] M.L.Oliphant, P.Harteck, E.Rutherford, Nature 133 (1934) 413.
- [4] R.d'E. Atkinson, F.Houtermans, Z.Phys.54 (1929) 656.
- [5] H.A.Bethe, Phys.Rev. 55 (1939) 434.
- [6] W.H.Bennett, Phys.Rev. 45 (1934) 890.
- [7] I.E.Tamm ja A.D.Sakharov, Plasma Physics and the Problem of Controlled Thermonuclear Reactions, (Ed.M.A.Leontovich), Vol.1, pp.1-47, Pergamon, Oxford 1961.
- [8] H.P.Furth, J. Fusion Energy 7 (1988) 99.
- [9] J.D.Lawson, Proc.Phys.Soc. 70 (1957) 6.

# Ydintekniikan koulutuksen nykytila ja kehittäminen



*Ydinenergia-alan ammattilaisista Suomessa noin 200 on saanut yliopistotasoisesta ydintekniikan koulutusta. Poistuma alalta on ollut suhteellisen vähäistä ja koulutustarve on pysytty toistaiseksi täyttämään. Ongelmaksi saattaa kuitenkin tulevaisuudessa muodostua uusien opiskelijoiden vähäinen hakeutuminen alalle etenkin, jos viidennestä ydinvoimalaitosyksiköstä tehdään kielteinen päätös.*



Atomienergianeuvottelukunta on selvittänyt ydinenergia-alan koulutuksen tilaa kahteen eri otteeseen 80-luvulla, vuosina -83 ja -87. Näistä selvityksistä varsinkin jälkimmäinen on pääosin edelleenkin ajan tasalla. ATS Ydintekniikka-lehti on käsitellyt koulutuskysymyksiä numeroissa 3/88, 1/90 ja äskettäin professori Rainer Salomaan kirjoituksessa numerossa 2/91.

Nämä selvitykset ja lehtikirjoitukset heijastanevat tiettyä huolestumista ydintekniikan koulutuksen tilasta ja alan jälkikasvusta. Tilanne meillä Suomessa ei ainkaan vielä anna tähän aiheetta; pikemminkin huolestumista ruokkivat tiedot sellaisista pitkän linjan ydinvoimamaista kuten Ruotsista ja Sveitsistä, joissa ydinvoimalaitosohjelmat ovat vastatulessa. Myös ydintekniikan koulutus on näissä esimerkkimaisissa vaikeuksissa, opiskelijat eivät koe alaa mielekkäänä valintana. Yhdysvalloissa alan opiskelijoiden kokonaismäärä on vain lievästi laskenut, mikä kätkee sen tosiseikan, että yhä kasvava osa opiskelijoista tulee ulkomailta, erityisesti Kiinoista ja Etelä-Koreasta. Tämä koskee varsinkin jatko-opiskelua, jossa ulkomaalaisten opiskelijoiden osuus on yli puolet monissa yliopistoissa.

## Koulutustarve

Koulutustarpeen arvioinnissa voidaan lähteä siitä, että meillä Suomessa ydinenergia-alan ammattilaisista noin 400–500:lla on akateeminen loppututkinto. Näistä suunnilleen puolet, hieman yli 200 on saanut ydintekniikan koulutuksen, toinen puoli on valmistunut muilta aka-

*Ekskursiot ulkomaille ovat tärkeä ja motivoiva osa opiskelua. Kuvat ovat teknillisen korkeakoulun fyysikkojen Ranskan ekskursiolta vuodelta 1962. Nykyään valokuvaaminen esimerkiksi ydinvoimalaitosten sisällä on paljon vaipaampaa kuin 1960-luvulla, ja muistoksi jää muutakin kuin kavereiden naamvoja.*



teemisilta aloilta. Luvut ovat kansainvälisessä vertailussa yllättävän pieniä. Yksi syy "ydinjoukon" pienuuteen on varmastikin siinä, ettei Suomeen perustettu alan syntyvaiheissa erityistä ydintutkimuskeskusta, vaan tutkimustehtävät jaettiin jo olemassaoleville laitoksille, pääosin VTT:n

eri laboratorioille. Jälkikäteen ajatellen tämä on ollut viisasta ja kansantaloudellisesti edullista.

Yliopistotasoisesta koulutuksesta saaneiden poistuma alalta on ollut suhteellisen vähäistä, atomienergianeuvottelukunnan arviossa noin viisi prosenttia vuodessa. Poistuma kasvaa tulevaisuudessa, kun alalle 70-luvulla tulleet alkavat siirtyä eläkkeelle. Mikäli viidennestä ydinvoimalaitosyksiköstä ei saada päätöstä, yleinen epävarmuus lisäänee myös poistumaa. Kun täysin uusia työpaikkoja on viime vuosina avautunut vähänlaisesti, voidaan edellä esitetystä luvusta suoraan arvioida ydinenergia-alalle erikoiskoulutettujen vuotuisiksi tarpeiksi noin 10–15 henkilöä. Koulutustavoite voisi olla tätä suurempi, koska poistuma kasvaa ja koska osa erikoiskoulutetuista aina hakeutuu alansa ulkopuolelle.

## Koulutusyksiköt

Ydinenergia-alan yliopistotasoinen koulutus on keskittynyt lähinnä kolmeen yksikköön: TKK:n teknillisen fysiikan laitokselle, Lappeenrannan TKK:n energiatekniikan osastolle ja Helsingin yliopiston radiokemian laitokselle. Näiden lisäksi TKK:n koneosasto on tuottanut muutamia ydinreaktorien termohydrauliikan taitajia sekä eri yliopistojen fysiikan koulutus säteilysuojelun ja -valvonnan ammattilaisia.

Professori Rainer Saloma on edellä mainitussa ATS Ydintekniikka-lehden artik-

**TKK:n teknillisen fysiikan osaston ydintekniikan tohtorit. Vuodesta 1977 lähtien valinta on tehty vastuoppituolin mukaan; sitä ennen väitöskirjan aiheen mukaan.**

1959	Lassi Hyvärinen
1962	Teuvo Kohonen
1966	Eino Tunkelo
1967	Heikki Puolakka
1968	Anders Palmgren
1969	Antti Vuorinen
1970	Juhani Kuusi Jouko Arponen Pekka Hiismäki
1971	Jyrki Juusela Seppo Salo Jussi Vaurio
1972	Bruno Bärs Olli Tiainen
1973	Heikki Reijonen Pekka Hautojärvi Antti Virjo
1974	Heikki Kalli
1975	Juhani Pitkäranta Risto Nieminen Markku Rajamäki
1976	Lasse Mattila Jorma Virtamo
1977	Risto Tarjanne
1978	Heikki Pöyry Matti Manninen
1979	Seppo Vuori Seppo Karttunen Jorma Karppinen
1980	Harri Toivonen Ilkka Savolainen
1981	Asko Vehanen Markku Koskelo Juhani Vira
1982	Kari Tilli
1984	Klaus Rytsölä Jorma Sandberg Peter Lund
1985	Ilkka Leikkonen Timo Siikonen
1986	Pertti Visuri
1987	Jukka Heikkinen
1988	Markku Ellilä Harri Tuomisto
1989	Ilari Aro
1990	Pertti Aarnio

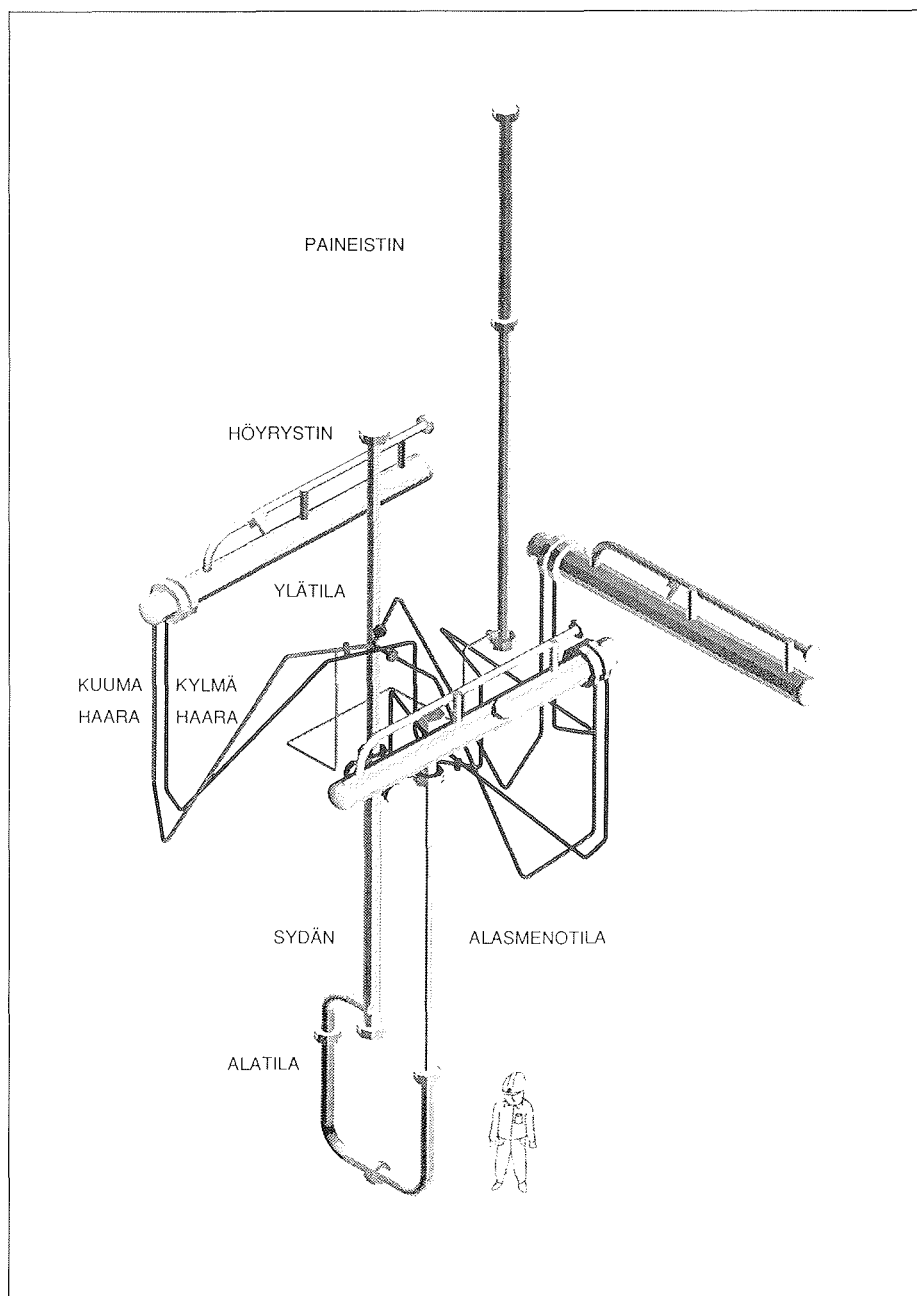
kelissaan numerossa 2/91 käsitellyt perusteellisesti ydintekniikan opiskelua TKK:n teknillisen fysiikan osastolla. LTKK:n energiatekniikan osasto lienee huomomin tunnettu.

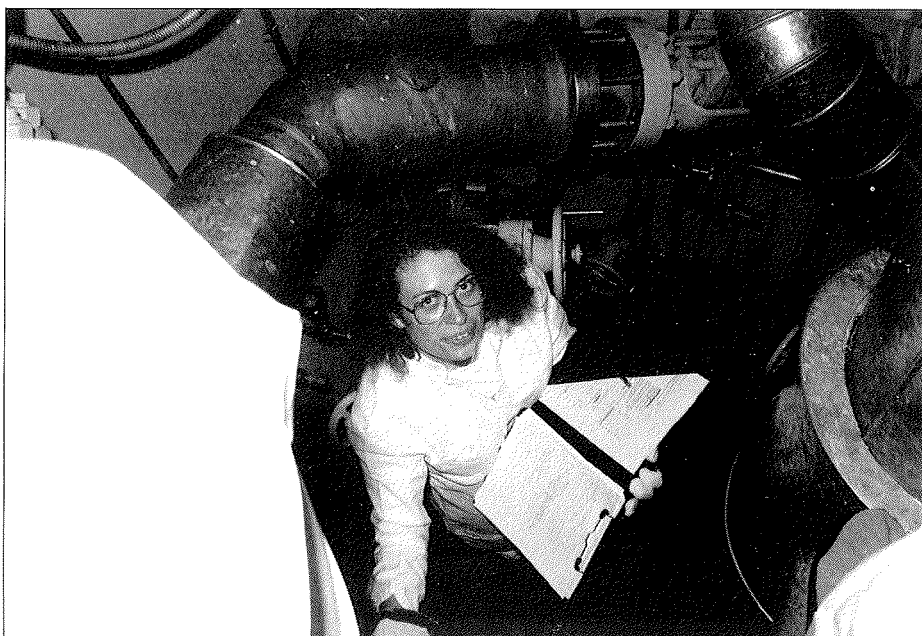
LTKK:ssa ydinenergia-alan perusopinnot käsittävät lukukauden mittaisen ydinenergiatekniikan perusteiden kurssin kaikille energiatekniikan osaston toisen vuoden opiskelijoille. Kun kurssi on lisäksi pakollinen myös energiatekniikan aineita valinneille tuotantotalouden opiskelijoille, osallistujia on peruskursseilla kaikkiaan hieman yli sata. Näistä noin 20 lähinnä voimalaitosopin ja energiatalouden opiskelijaa suorittaa sitten kaksi lukukautta kestävän ydinvoimatekniikan kurssiin. Lopulta näistä 4–8 opiskelijaa valitsee vuosittain ydinvoimatekniikan syventymiskohteekseen, johon kuuluu syventäviä kursseja ydintekniikassa, isotooppitekni-

kassa, luotettavuustekniikassa sekä ydinreaktorien fysiikassa ja termohydrauliikassa. Kaikkiaan syventävien opintojen laajuus on 21 opintoviikkoa. LTKK:ssa on tehty viitisenkymmentä ydintekniikkaan liittyvää diplomityötä ja valmistumisajat ovat keskimäärin olleet hieman alle kuusi vuotta.

Jatkotutkintoja ydintekniikan alalta on perinteisesti suoritettu enemmän kuin tekniikassa keskimäärin. Jatko-opiskelu on pääosin keskittynyt Otaniemeen. Komea luettelo TKK:ssa suoritetuista ydintekniikan alan tohtorintutkinnoista on ohessa. Lappeenrannan nuorena korkeakoulussa jatko-opiskelu on käynnistynyt vasta 80-luvulla. Viisi ydintekniikan alaan liit-

*VTT:n ja LTKK:n yhdessä rakentama ydinvoimalaitosten termohydraulista käyttäytymistä epänormaaleissa tilanteissa jäljittelevä PACTEL-koelaitteisto.*





*Manchesterin yliopiston ydintekniikan opiskelija Philippa Loose Loviisan vuosihuollossa 1991. Hän oli yksi neljästä ENS:n harjoittelijavaihtoon osallistuneesta suomalaisesta ja englantilaisesta nuoresta vuonna 1991. Tällä tavalla toiminnalla tuleville insinööreille luodaan mahdollisuus aloittaa*

Suomessakin ja alan ”ukkoutuminen” olisi vaikeasti torjuttavissa.

### Ukkoutumista torjumaan

Lopuksi esitän muutamia (ei välttämättä uusia) näkemyksiä siitä, miten ydinenergia-alan yliopistotasoisista koulutusta voitaisiin kehittää.

Ydintekniikkaa on viime vuodet opetettu hieman ”sammutetuina lyhdyin” lähinnä energiefysiikan ja voimalaitostekniikan osa-alueena. Tulevaisuudessa korkeampi profiili saattaisi parantaa opiskelijoiden rekrytointitilannetta. Tämä vaatisi muutoksia vain opetusohjelmien rakenteeseen niin, että ydintekniikka esiintyisi selkeämmin vaihtoehtona. Samalla rekrytointipohjaa voitaisiin laajentaa helpottamalla esimerkiksi koneosastojen opiskelijoiden suuntautumista ydintekniikkaan.

Lopullisen alanvalinnan opiskelijat tekevät melko myöhäisessä ipintojen vaiheessa; suuntautumisvaihtoehto valitaan tavallisesti toisen vuoden lopussa ja syventymiskohde vielä myöhemmin. Tässä valintaprosessissa on harjoittelu- ja diplomityöpaikkojen merkitys keskeinen. Ydinenergia-alan tulee jatkuvasti tarjota mielekkäitä, haastavia ja palkkaukseltaan kilpailukelpoisia mahdollisuuksia harjoitteluun ja opinnäytetöihin. Tämä viesti on ymmärtääkseni mennyt perille ainakin voimayhtiöihin.

Päivän sana on kansainvälisyys. Ydinenergia-alan kiinnostavuutta voidaan lisätä, jos alan kansainvälinen luonne ja tehtäväkenttä pystytään ”markkinoimaan” opiskelijoille. Tämä edellyttää harjoittelu-, opiskelu-, diplomityö- ja jatko-opiskelu- paikkoja ulkomailla. European Nuclear Society:n puitteissa alkanut opiskelijavai-

to on pieni askel hyvään suuntaan. Vaihto on kuitenkin aina vastavuoroista; meidän on pysyttävä tarjoamaan vastaavat harjoittelu- ym. paikat ulkomailla tänne tuleville opiskelijoille. Vetoan tässä voimayhtiöihin ja tutkimuslaitoksiin.

Luonnonsuojelu on toinen päivän sana. Tiedotusvälineet antavat sen kuvan, että energia-ala kuuluu luonnon pahimpiin saastuttajiin. Tähän haasteeseen LTKK:n energiatekniikan osasto on vastannut aloittamalla energiantuotannon ympäristötekniikan opetuksen omana suuntautumisvaihtoehtona. Ympäristötekniisiä kursseja sisällytetään myös ydintekniikan tutkintoon.

Ydintekniikan kiinnostavuus lisääntyy myös, jos opetus niveltyy uutta luovaan korkeatasoiseen tutkimukseen. Korkeakoulujen nykyisillä määrärahoilla tämä on kova vaatimus, jota voidaan helpottaa erilaisin yhteishankkein. Korkeatasoiseen opetukseen ja tutkimukseen kuuluu myös kokeellinen puoli. Erikoisesti kokeellisella alueella yhteishankkeet ovat välttämättömyys, hyvänä esimerkkinä VTT:n ja LTKK:n yhteiset koelaitteet ydinreaktorien termohydrauliikan alueella, viimeimpänä Loviisan laitosten primääripiiriä simuloiva PACTEL-koelaitteisto. Tutkimusreaktorin merkitys koulutuksessa säilyy. Triga-reaktorille toivoisin sellaista ratkaisua, jossa sen koulutuskäyttöä voitaisiin nykyisestäään lisätä.

Korkeakoulujen tietokonekanta on ajan tasalla, osin jopa erinomainen. Yhdessä määrärahojen niukkuuden kanssa tämä suuntaa tutkimustyötä helposti tietotekniikkapainotteiseksi. Tällä alueella on toki paljon tehtävää, ensimmäisenä tulevat mieleen erilaiset voimalaitossimulaattorit, joista VTT:n kehittämä APROS-simulointiympäristö päällimmäisenä. APROS tarjoaa jatkuvasti mielenkiintoisia opinnäytetöitä ja hyvät mahdollisuudet myös opetuksen syventämiseen. Aihetta voitaisiin edelleen kehittää, jos vielä Loviisan ja Olkiluodon koulutussimulaattorit saataisiin vuosittain päiväksi pariiksi korkeakoulujen opetuskäyttöön?

Tässä kirjoituksessa olen esitellyt muutamia ehdotuksia ja näkemyksiä korkeakoulutasoisesta ydinenergia-alan opetuksesta. Tällä hetkellä on tärkeätä, että keskustelu koulutuksesta jatkuu. Keskustelu ei saisi rajoittua vain korkeakoulujen piiriin. Kuten kirjoituksessani useaan otteeseen totean, voimayhtiöt ja tutkimuslaitokset voivat monilla tavoin vaikuttaa alan kiinnostavuuteen ja sitä kautta koulutustavoitteiden toteutumiseen. □

TkT Heikki Kalli on Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun ydintekniikan professori. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1969. Puh. 953-5711.

tyvää tekniikan liseniaatin tutkintoa kannattaa mainita.

### Opetuksen ongelmat

Edellä sanotusta voidaan jo huomata, ettei koulutusyksiköiden kapasiteetti ole ongelma; nykyiset yksiköt pystyisivät helposti tuottamaan tavoitteet ylittävänkin määrän ydintekniikan loppututkintoja. Pienehkön opettajakunnan tietojen aukkoja voidaan aina paikata osaavilla erikoisopettajilla, tästä kiitokset menevät erityisesti VTT:n laboratoriolle.

Ongelmaksi saattaa jatkossa muodostua uusien ja lahjakkaiden opiskelijoiden vähäinen hakeutuminen alalle. Tämä ongelma koskenee osaksi koko energia-alaa, osaksi se on ydinenergia-alalle spesifinen. Opiskelijoiden hakeutuminen eri vuosina eri aloille on omituinen aaltoliikeilmiö, jossa muutokset voivat olla nopeitakin.

Päätöksellä viidennestä ydinvoimalaitosyksiköstä on vaikutusta opiskelijoiden rekrytointiin. Mikäli rakentamispäätös tehdään, ydinenergia-alan kiinnostavuus lisääntyy. Ala koetaan kehittyvänä, haastavana ja ennen kaikkea uusia tehtäviä tarjoavana. Kielteisellä päätöksellä saattaa olla lamaanuttava vaikutus. Ala voidaan kokea pysähtyneenä, jopa kuolevana. Edellä kerrottu Ruotsin ja Sveitsin koulutustilanne hämmäyttäisi silloin meillä





# Ydintekniikan tutkimuksen tulevaisuuden näkymiä

*Tulevaisuuden energiatalous, joka toteuttaa kestävän kehityksen tavoitteita, perustuu yhä enemmän tutkimukseen ja tietoon. Nykyiset ydinreaktorit käyttävät uraanin energiasisällöstä vain sadasosan. Niiden varaan ei voida perustaa pitkälle ensi vuosituhanneille yltäviä energiaratkaisuja, mutta ne rakentavat niihin siltaa. Tutkimuksella on keskeinen asema kehitettäessä pitkän aikavälin ratkaisuksi sopivia hyötöreaktoreita, fuusioenergiaa ja aurinkoenergiaa. Tässä kansainvälisessä tutkimus- ja kehitystyössä Suomen tulisi olla aktiivisesti mukana nykytekniikkaan perustuvien ydinvoimalaitosten turvallisen ja taloudellisen käytön kehittämisen ohella.*

Kaikkea energiantuotantoa koskee Einsteinin tunnettu relaatio massan ja energian välillä  $E = m c^2$ . Energian ja massan suhdelukuna oleva valon nopeuden neliö on valtavan suuri — esimerkiksi Suomen vuosittainen energiatalous vastaa noin 10 kg massakatoa. Käytettävissämme ei kuitenkaan ole antimateriaa massan muuttamiseksi kokonaan energiaksi — lukuunottamatta pienenä määrässä alkuräjähdyksen olosuhteita matkivissa suurenergiakiihdyttimissä.

Kemiallisissa reaktioissa, kuten fossiilisten polttoaineiden palamisessa, sidosenergioiden muutokset ovat noin miljardisosa reaktioihin osallistuvasta massasta. Ydinreaktioissa sidosenergioiden muutokset ovat niihin verrattuna miljoonakertaisia — suuruusluokkaa tuhannesosa massasta muuttuu energiaksi.

Ydinreaktiot ovat luonnon energiatalouden perusmekanismeja. Keveiden ytimien fuusio hehkuttaa aurinkoa josta maahan lankeava säteilyenergia ylittää maailman energiatalouden 20 000 kertaisesti. Aurinko pitää yllä sääkiertoa ja siitä johtuvaa vesi- ja tuulivoimaa sekä biomassan kasvua, josta aikojen kuluessa kertyneitä fossiilisia polttoaineita nyt käyttämme.

Raskaiden ytimien fissio tuottaa osan maankuoresta vapautuvasta geotermisestä energiasta ja on aikanaan käyttänyt myös kriittisiä reaktoreita maankuoressa Afrikan Oklon-ilmion tapaan.

## Fissio vai fuusio vai aurinko

Tutkimus ja kehitystyö on valjastanut energiatalouden käyttöön vasta pienen osan ydinenergian potentiaalista. Nykyiset reaktorit hyödyntävät uraanin energiasisällöstä vain sadasosan. Niissä käytettyinä uraanivarat riittävät runsaat puoli vuosisataa, mutta nykytekniikan varaan ei voi rakentaa vuosisatoja kestäviä energiaratkaisuja. Vasta hyötöreaktorit ja fuusiovoimalat tarjoavat siihen mahdollisuuden.

Nykyreaktoreita noin 70 kertaa tehokkaammin uraania ja sitä mittavampia toriumvaroja käyttävien hyötöreaktoreiden polttoainevarat ovat käytännössä ehtymättömät. Sekä uraanin että toriumin keskimääräiset pitoisuudet maankuoressa ovat useita miljoonasosia, mikä tekee niistä koko maankuoren suuruisia fossiilivaroja mittavamman energialähteen. Myös fuusioreaktoreiden polttoainevarat ovat ehtymättömät. Litraa vettä oleva pieni määrä vedyn raskasta isotooppia deuteriumia vastaa fuusioreaktorin polttoaineena energiasisällöltään tynnyrillistä öljyä.

Hyötöreaktorien historia on lähes yhtä pitkä kuin koko ydinenergian. Ensimmäinen sähköä tuottava fissioreaktori oli natriumjähdytteinen hyötöreaktori. Nykyiset vesijähdytteiset reaktorit saivat kuitenkin pian valta-aseman. Viime vuosina on otettu käyttöön ensimmäiset suuret hyötöreaktorit, erityisesti Ranskan Super-Phenix koelaitos. Hyötöreaktorit edellyttävät suljettua polttoainekiertoa jälleenkäsittelyineen. Vaikka hyötöreaktorit polttoainekiertoineen on teknillisesti demonstroitu, ei niiden odoteta yleistyvän vielä pitkään aikaan. Niitä voidaan pitää myös varajärjestelminä mikäli fuusion tai muiden uusien järjestelmien käyttöönotto epäonnistuu.

Fuusioenergian kehitys on ollut ihmiskunnan mittavimpia kehityshankkeita. Neljän vuosikymmenen jälkeen fuusion tieteellisen toteutettavuuden näyttö on suunnilleen saavutettu. Nykyiset koelaitteet ovat saavuttaneet energiantuottoon tarvittavat lämpötilat, polttoaineen tiheyden ja koossapitoajan. Tästä on kuitenkin vielä ainakin vuosikymmenen matka

teknillisiin demonstraatiolaitoksiin ja vielä pitempi taloudellisiin fuusiovoimaloihin. Varmuutta niiden onnistumisesta ei vielä ole, mutta fuusion ehtymättömät polttoainevarat ja muut edut kannustavat pitkäjärjenteistä kehitystyötä.

Hyötöreaktorit ja fuusio kilpailevat tulevaisuuden energialähteinä keskenään mutta myös aurinkoenergian kanssa. Auringon säteilyteho on mittava mutta sen energiatehous pieni ja ajallisesti ja paikallisesti vaihteleva. Paluu teollista vallankumousta edeltävään tuuleen, vesivoimaan ja poltto-puuhun ei ole mahdollista. Aurinkoenergian tutkimus on tuottanut monia uusia mahdollisuuksia. Niistä lupaavimpia on säteilyn suora konversio sähköksi. Puolijohdetekniikan aikaisempien läpimurtojen tapaan siinä voidaan odottaa teknillisten läpimurtojen mahdollisuuksia.

Jättäytyminen fossiilisten polttoaineiden varaan aurinko- ja fuusioenergiaa odotellen ei kuitenkaan olisi viisasta. Fossiilisten polttoaineiden ympäristövaikutukset, ja niistä vaikeimpana hiilidioksidikysymykset ja ilmastomuutosten mahdollisuus, edellyttävät uusien energialähteen tutkimusta, kehitystä ja käyttöönottoa. Fossiiliset polttoaineet säilyttävät valta-asemansa vielä pitkään. Samalla ne muodostavat peruspääoman, joiden aikana ja avulla uusi kestävämpi energiatalous on rakennettava. Siltaan siihen tarvitaan nykyistä ydinenergiaa ja tulevaisuuden osina sekä fissiota, fuusiotta että aurinkoa.

## Ydintekniikan tutkimus Suomessa

Ydintekniikan tutkimuksessa on kaksi toisistaan erottuvaa aikajännettä. Niistä lyhyempi liittyy nykyisten ydinvoimalaitosten turvalliseen ja taloudelliseen suunnitteluun, rakentamiseen ja käyttöön. Pidemmän aikajärjenteen kysymykset koskevat hyötöreaktoreita ja fuusiotta ja niiden osuutta tulevaisuuden energiataloudessa.

Aikajärjenteen ohella tutkimuskohteet vaihtelevat myös paikallisesti. Pitkäjärjenteinen tutkimus erityisesti fuusioenergian kehittämiseksi soveltuu parhaiten laajoihin kansainvälisiin hankkeisiin. Niiden vaatimustaso ja korkeat kustannukset edellyttävät maailmanlaajuisuista yhteistyötä. Suomikin on liittymässä mukaan tiivistyvän eurooppalaisen yhteistyön puitteissa. Tämä edellyttää lisäpanostusta näiden tutkimusalojen koulutukseen ja hankkeisiin myös kotimaassa. Toisaalta yhteistyö tar-

joaa mahdollisuuksia teollisiin toimituksiin jo koelaitteita rakennettaessa.

Suurin osa tutkimustyöstämme suuntautuu omien ydinvoimalaitostemme taloudellisen ja turvallisen käytön varmistamiseen. Myös tämä työ pohjautuu kansainväliseen yhteistyöhön. Siinä emme voi olla pelkästään vastaanottava osapuoli. Pääsy edellyttää rahoituspanosten ohella aktiivista osallistumista ja vahvaa tietotasa. Niiden pohjalta on myös mahdollista saada suunnittelu- ja toimitustehtäviä kansainvälisillä markkinoilla.

Ydinenergian tutkimuksen mittakaava Suomessa on kansainvälisesti vertaillen pieni. Tutkimus on onnistuttu organisoimaan joustavasti ja se tukeutuu muiden erityisalojen asiantuntemukseen. Useimmista maista poiketen Suomessa ei ole luotu laajoja erillisiä ydintekniikan tutkimuslaboratorioita, vaan sekä tutkimus että koulutus nivelyvät saumattomasti muuhun teknilliseen tutkimukseen ja koulutukseen. Tämä järjestely on tuonut mukanaan huomattavia kustannusetuja, sallinut tutkimuksen joustavan kohdentamisen sekä tuonut ydintekniikan tutkimukseen laajemman energiataloudellisen perspektiivin.

## Aika, energia ja informaatio

Energiatalouden aika, energia ja informaatio kytkeytyvät monella tavalla yhteen. Tulevaisuuden ratkaisuisissa korostuu ennen kaikkea informaatio — tutkimuksen tuottama uusi tieto.

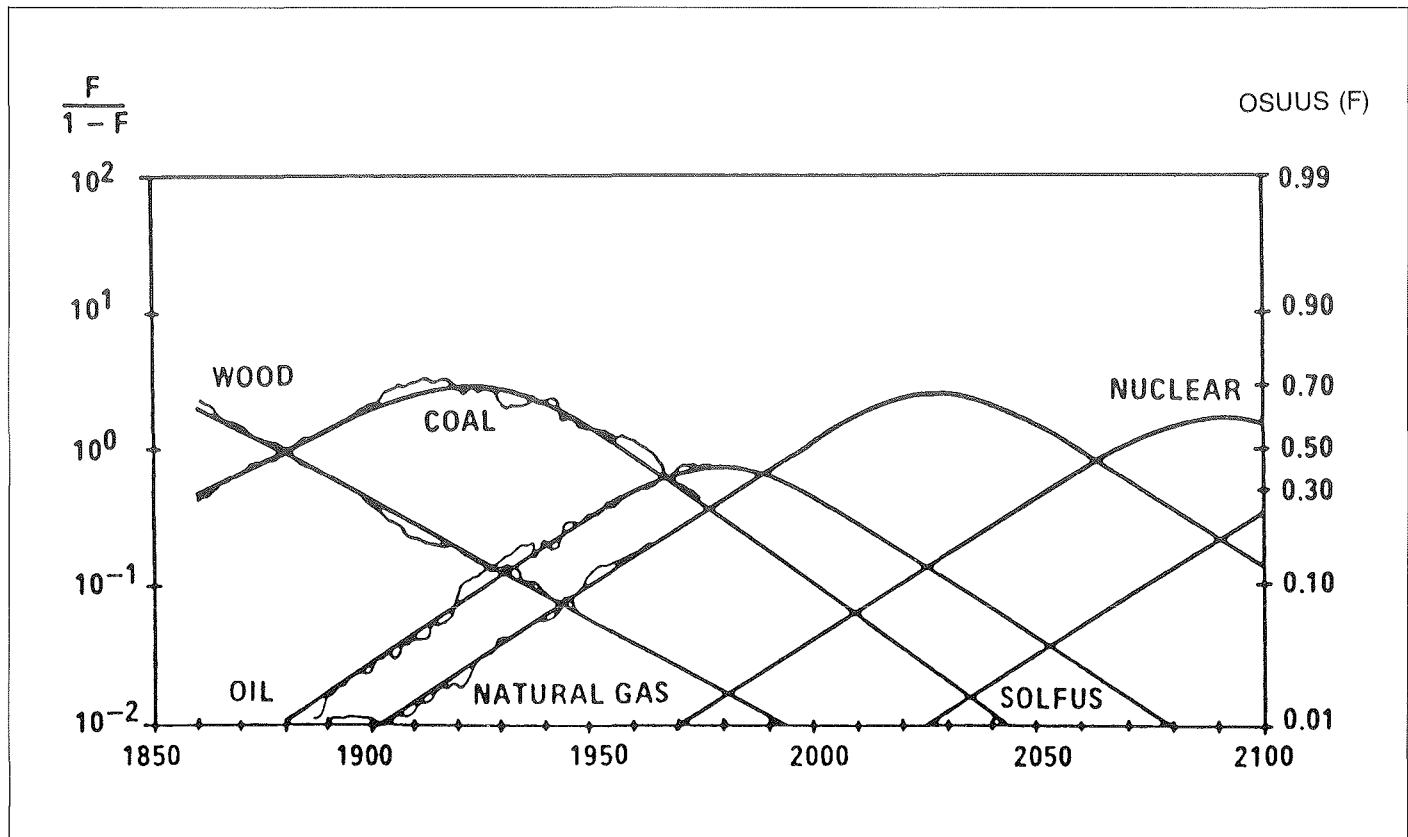
Fossiilisisissa polttoaineissa auringon energia on sitoutunut pitkien aikojen kuluessa biologisten prosessien hienoihin kemiallisiin rakenteisiin. Palamisessa tähän järjestykseen sitoutunut energia vapautuu, informaatio pienenee ja entropia kasvaa.

Ydinpolttoaineissa samantapainen järjestys on peräisin kosmologisista prosesseista maailmamme syntyajoilta. Niiden energia on vapautettavissa paljon hankalammin kuin fossiilisten polttoaineiden. Fuusio- ja valosähköisen energian kohdalla on kysymys enemmän tiedosta kuin edullisista raaka-aineista. Voimme sanoa, että siinä missä polttoaineiden käyttö kuluttaa järjestystä ja lisää entropiaa, tutkimus ja siihen pohjautuvat rakenteet lisäävät järjestyneisyyttä ja tuottavat negatiivista entropiaa.

Energia ja informaatio kytkeytyvät yhteen myös energian käytössä. Tietoon ja informaatiotekniikkaan pohjautuva energian tehokkaampi käyttö on osoittautunut uusien energian tuotantomuotojen merkittävämmäksi tekijäksi. Samalla se on antanut lisää aikaa tulevaisuuden energiajärjestelmien tutkimukseen, kehittämiseen ja rakentamiseen.

Energia ja informaatio kohtaavat myös yhteiskunnallisen päätöksenteon tasolla. Demokraattinen päätöksenteko edellyttää kansalaisilta ja heidän edustajiltaan laajaa ja realistista näkemystä tulevaisuuden vaihtoehtoista, niiden eduista ja haitoista, mahdollisuuksista ja rajoituksista. Tutkimuksen ja tutkijoiden tehtäviin kuuluu myös tämän tiedon tuottaminen ja levittäminen. □

Professori Jorma Routti on SITRAn yliasiamies. Hän on ATS:n jäsen vuodesta 1973. Puh. 90-618991.



Historialliset ja ekstrapoloidut markkinaosuudet eri energialähteille IIASA:n energiätutkimuksesta "Energy in a Finite World". Kuvio ei ennakoit tulevaisuutta tarkasti, mutta korostaa aikajänneen pituutta maailman energiamuutoksissa.

# Onnittelemme 25-vuotiasta Suomen Aton

## ABB Atom

72163 Västerås, Sverige, puh. 990-46-21-107000



## IMATRAN VOIMA OY

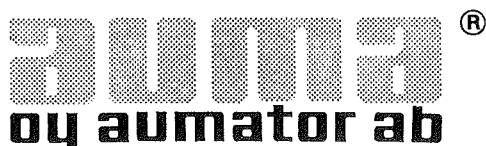
Rajatorpantie 8, PL 112, 01601 Vantaa, puh. 90-5081

## ABB Strömberg Power

Takomotie 8, PL 219, 00381 Helsinki, puh. 90-56051



Hämeentie 33, 00500 Helsinki,  
palvelunumero 9800 9400



Hyljekuja 5, PL 21, 02271 Espoo, puh. 90-8037022



PRODUCTS

Viljatie 2, PL 5, 00701 Helsinki, puh. 90-34501

## ENERDATA OY CONSULTING ENGINEERS

Kuutamokatu 8 A 7, 02210 Espoo, puh. 90-8030298

## METATOM

Eteläranta 10, PL 10, 00131 Helsinki, puh. 90-19231



THE WORLD  
OF CONSULTING

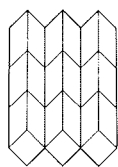
## FINNMAP OY

PL 75, 00511 Helsinki, puh. 90-39331

## NAF

PL 82, 68601 Pietarsaari, puh. 967-232844

teknillistä seuraava



TEOLLISUUDEN KESKUSLIITTO

Eteläranta 10, PL 220, 00131 Helsinki, puh. 90-18091

**NELES-JAMESBURY**

Levytie 6, PL 6, 00881 Helsinki, puh. 90-75841

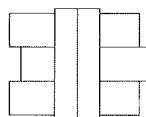


TEOLLISUUDEN VOIMA OY

Fredrikinkatu 51-53 B, 00100 Helsinki, puh. 90-61801

**PERUSVOIMA OY**

Malminkatu 16, PL 138, 00101 Helsinki, puh. 90-60901



Oy TERMECA Ab Engineering

Atomitie 5 A, 00370 Helsinki, puh. 90-5622717

**SIEMENS**

PL 60, 02601 Espoo, puh. 90-51051



TERÄSBETONI-YHTYMÄ OY

Opastinsilta 8b B, 00520 Helsinki, puh. 90-148821



SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO R.Y.

Bulevardi 5 A 7, PL 205, 00121 Helsinki, puh. 90-645601

**VTT**

Valtion teknillinen tutkimuskeskus

Vuorimiehentie 5, 02150 Espoo, puh. 90-4561

**SVY**

SUOMEN VOIMALAITOSYHDISTYS R.Y.

Lönnotinkatu 4 B, 00120 Helsinki, puh. 90-602944



YIT-YHTYMÄ

Maistraatinportti 2, PL 15, 00241 Helsinki,  
puh. 90-15941

# English abstracts

Anniversary publication: Finnish Nuclear Society's 25th anniversary

## 25 years of the Finnish Nuclear Society

*Pekka Jauho (page 1)*

Many of the global evolutionary tendencies in the power industry seem to point to the fact that trouble-free power production under all conditions is an aim more and more difficult to achieve. Yet the whole existence of industrialized society depends on it. Fusion energy has been long coming; under our circumstances, solar energy is out of the question; wind power is only a marginally uncertain addition, and saving is not really a source of energy. What is needed is a source which can reliably produce energy when it is needed. Due to the marginal conditions imposed by the environment, in the future we are left with only one option: nuclear energy. FNS is still needed. Its role as an objective disseminator of information must continue; it must still function as a connecting link in the multi-scientific nuclear technicians' community; and, in the future, it must be responsible for both the professionalism of its members and the solidarity which comes from a healthy pride in their profession.

## FNS — the Finnish Nuclear Society

*Rainer Salomaa (page 2)*

The Finnish Nuclear Society was established 25 years ago to promote professional collaboration between nuclear scientists and engineers. The present domestic and international professional activities and future challenges of the society are being discussed. As a scientific society, FNS must continue to represent members of all nuclear from health physicists to power plant operators. A most demanding task is the universal problem of providing proper, objective information on various nuclear matters to the media and the general public.

## The 25-year-old Finnish Nuclear Society — from foundation to active operation

*Jorma Aurela, Pertti Salminen (page 4)*

The Society's first meeting was on May 25th, 1966. There were 21 charter members, and the meeting was convened by present academician Pekka Jauho. Its activities increased rapidly, so by 1967 there were already 63 members, and supporters from 14 companies. At present, there are almost 650 members, plus supporters from 22 different companies. As the Society celebrates its 25th anniversary, its journal, *ATS Ydintekniikka* (FNS Nuclear Technology), has entered on its 20th year.

The main activities of the Society have been the meetings organized for its members, and the annual excursions abroad. Internationally, it has tried to collaborate as much as possible with the work of the ENS. Publishing has also played an important part in its activities. In the 1980's, there was a substantial increase in the public information given by the Society.

## Is there place for young scientists in the nuclear field

*Petra Lundström (page 12)*

To secure the future activity of the Finnish Nuclear Society, attention should be paid to recruiting new, young members. Since attitudes towards the nuclear field are somewhat sceptical among university students, it would be essential to provide information. The Society offers its young members all-round educational lectures on topical subjects, professional contacts, and possibilities to participate in international activities.

## The development of peaceful applications of nuclear technology

*Jorma K. Miettinen (page 14)*

After the birth of nuclear technology in the form of nuclear bombs in the USA during the Second World War, the development of peaceful applications of nuclear energy started. The civilian applications were strongly promoted by the First UN "Atoms for Peace" — Conference in 1955. The design of nuclear reactors for submarines (*Nautilus* 1954) also helped that of the first civilian power reactors.

After a short regression of the nuclear industry in 1958—64, a real "boom" of orders for nuclear power plants started in many countries. In the USA the ordering of power reactors for electricity generation stopped in 1978, partly due to economic, partly to political reasons. The nuclear accidents (Harrisburg, 1979 and Chernobyl 1986) also caused delays in power reactor ordering in many countries.

## On the landing of nuclear technology in Finland

*Erkki Laurila (page 18)*

In this article the author, who acted as chairman of the Finnish Nuclear Energy Commission for 20 years, describes the most influential decisions and incidents during the fifties and sixties, when Finland was preparing to take into use nuclear power as part of her energy management.

## The nuclear energy technology as a technology booster

*Juhani Kuusi (page 20)*

The development of nuclear energy technology had many positive spin-off effects on several areas of industry. Within the manufacturing industry new tools such as the modern methods for structural analysis, new welding techniques, improved knowledge on the behaviour of materials, sophisticated quality assurance techniques, etc., were very useful, also the more conventional branches of industry. The methods developed for the studies of the safety and reliability of complicated nuclear power plant systems have also many and increasing applications outside the nuclear field.

In Finland both the nuclear research activities, and the development and manufacture of nuclear power plant components were carried out in close contact with the more conventional activities which facilitated an effective utilization of spin-offs from nuclear technology.

## IAEA as promotor and regulator of nuclear energy

*Martti Mutru (page 22)*

After the cruel demonstration of the application of atomic energy in 1945, all details relating to nuclear science and technology remained classified for several years. Yet, it was clear that atomic energy could serve many peaceful purposes. In the beginning of the 1950's the United States launched a special Atoms for Peace Programme. In this context president Eisenhower proposed in 1953 that an international organization should be established to further the peaceful applications of atomic energy and to ensure that the assistance provided by it would not be used in such a way as to further any military purpose. Consequently, the International Atomic Energy Agency was established in 1957. At the beginning the work primarily involved the development and promotion of radiation and radioisotope based methods for various purposes. Rules were prepared for the safe use of these techniques, and the safeguards-system was created. Radiation and radioisotope based technology is nowadays well-known, and one could ask whether a special international organization is necessary for its promotion. Since the rapid growth in the nuclear power capacity the main role of the IAEA is no doubt related with nuclear safety and non-proliferation issues. While the Chernobyl accident prompted major changes and growth in the nuclear



safety programme, the consequences of the Iraqi case for the Agency's safeguards-programme, for the non-proliferation system as a whole, cannot be foreseen yet. In any event, the Agency and its member states will have to look into this issue in the very near future.

#### **The Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety guarantees the safety of nuclear power**

*Antti Vuorinen (page 25)*

The work done by the Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety goes back nearly a quarter of a century. A firm foundation was established earlier on by supervising radiation usage. The center's working field has expanded rapidly in the last three decades: it has grown from a small research institute into an expert authority on radiation and nuclear safety, which has a well-established status as part of the Finnish administrative machinery, and widespread international relations. Along with controlling the usage of radiation, some of the centre's main duties are: the regulatory control of nuclear energy usage, the national supervision of radiation and stand-by measures; controlling non-ionizing radiation, and carrying out research on radiobiology.

#### **How young engineers learned to construct nuclear power plants**

*Kalevi Numminen (page 29)*

The Loviisa nuclear power plant was built with international co-operation. The Soviet Novo Voronesh type of basic concept was re-designed to meet Western safety and technical standards. The main Western contributors together with the Finns were Westinghouse, which delivered the containment technology, and Siemens, which delivered the automation. The Finnish project team was very young but enthusiastic, and the difficult task of co-ordinating the whole project was very challenging. During the project very many problems related to design, safety, quality control, language, culture and people had to be solved. The result was good: Loviisa has been a very reliable and safe plant. In the availability statistics, it has been one of the best plants in the world. Those young engineers, who are no longer young, are at present working in different tasks related to the Finnish energy management, but the challenging job of building Loviisa remains the most interesting time in their careers.

#### **A Swede in Finland better than the Swedes**

*Magnus von Bonsdorff (page 34)*

Boiling water reactors in Sweden and Finland have outstanding operational and availability records. The provocative heading refers to the fact that the two 710 MW ABB Atom BWR plants in Finland, operated at Olkiluoto by the Industrial Power Co Ltd (TVO) since 1978, have a slight advantage over Swedish BWRs. High availability and capacity factors are attributed to still modern/advanced design, the attitude of the operating personnel, uncompromizing but expedient regulatory body supervision, continuous plant safety and operational update, good fuel performance, detailed annual outage planning, in-service maintenance possibilities, extensive simulator and other training programmes etc.

#### **The role of Finnatom in the construction of nuclear power**

*Nils Björklund (page 36)*

The Finnish engineering industry had supplied the plant and equipment for power production already since the middle of last century. Hence the industry was interested in continuing deliveries also after the introduction of nuclear power.

In 1965 plans were started to form a consortium of interested companies for the purpose. The consortium was formed by eight Finnish companies on the 30th of March, 1966 under the name "The Finnish Nuclear Industries Group" (FNIG), aiming to maximize Finnish deliveries to future nuclear power plants to be constructed in Finland, whoever was to be the main contractor.

Already before any orders for nuclear power plants in Finland had been placed, FNIG got orders from the Swedish company Asea-Atom for the deliveries of important parts for nuclear power stations to be erected in Sweden. When Finland was ready to order the first nuclear reactor for IVO from the Soviet Union, FNIG activated its work and was transformed into a company limited under the title Oy Finnatom Ab. The managing director was Mr. Uolevi Luoto.

The activities of Finnatom were handling the coordination of supplies from its shareholding companies plus some research. The period most active for the company were the years 1970—1983. Extensive deliveries were made from the shareholding companies

to the power stations Loviisa 1 and 2 plus Olkiluoto I and II. Also deliveries to Sweden to the power stations Oscarshamn I, II and III, as well as to Forsmark were made. With the decline in the building of nuclear power stations, the shareholders decreased the activities of Finnatom, selling eventually in 1984 all the shares to Mr. Daniel Jäfs, managing director of Finnatom since 1975.

#### **How safe is safe enough?**

*Jukka Laaksonen (page 39)*

Since the beginning of the peaceful use of nuclear energy, attempts have been made to define generally consented numerical goals for nuclear safety. Such attempts have not been successful, and probably will not be in the foreseeable future. An example of setting quantitative safety objectives and of using them for design is found on Canada.

However, the safety level specified by those objectives would not provide a viable basis for extensive worldwide use of nuclear energy. More ambitious goals have been used in the UK, and these goals seem to be in compliance with the state-of-the-art of current technology. One problem with such specific, very low risk figures is that one can not really prove meeting them. Another problem is that the general public is reluctant to accept any given risk figure, no matter how small it might be. The approach in Finland is to give deterministic requirements, which in practice provide the same level of safety as the most ambitious numerical targets currently used. The requirements are modified whenever a change is considered well-founded to reflect the latest developments in safety technology and the experience gained from operating stations. This means that the setting of ultimate safety goals should not be expected, but the safety has to be as high as reasonably achievable.

#### **Nuclear technology — international co-operation at its best**

*Bjarne Regnell (page 41)*

The article describes the various forms of international co-operation in the nuclear field, with special attention paid to the organizations and work which Finland is part of. The most relevant international organizations (IAEA, OECD/NEA, etc.) are described. Many international and bilateral research projects are discussed in some detail, as well as professional organizations (ENS, ANS, etc.) and industrial associations (WEC, WANO, etc.). Work on a new nuclear power station

planned in Finland is briefly mentioned. The general importance of co-operation is also pointed out.

#### **Radiation protection guarantees adequate safety level**

*Anneli Salo (page 45)*

International radiation protection principles are described on the basis of the recommendations recently published by the International Commission on Radiological Protection (ICRP). The aim of radiological protection is to provide an appropriate standard of protection for man without unduly limiting the beneficial practices of radiation.

The well-known principles of radiological protection — the justification of a practice or an intervention, the optimization of protection and the protection of individuals — have been reformulated distinguishing between a "practice", which causes exposures to radiation, and an "intervention", which decreases exposures. The principles of protection are applicable to occupational, medical and public exposures. An example of "practice" is nuclear power production, and of "intervention" radon in dwellings or environmental contamination after an accidental release of radionuclides.

The basic framework of radiological protection is intended to prevent the occurrence of deterministic health effects by keeping radiation doses below the relevant thresholds and to ensure that all reasonable steps are taken to reduce the induction of stochastic effects such as cancer and hereditary effects. The system of protection is extended to cover also the so called potential exposures, which may or may not occur pending on an accident to happen. The practical implementation of radiation protection in Finland as well as the revised Finnish radiation protection law follow the basic international radiation protection principles.

#### **Nuclear power plant safety**

*Lasse Mattila (page 49)*

The article first explains the basic causes and outlines the primary ways to cope with reactor accident risks. The generic lessons learned from Harrisburg and Chernobyl accidents are reviewed, followed by a description of specific safety improvements at the Finnish plants. Finally, some safety issues of much current interest are discussed: the safety of aging plants, new trends for future reactors and the management of risks due to external causes.

#### **Safety and costs of nuclear waste management**

*Sirkka Vilkkamo, Seppo Vuori (page 52)*

The general objective of nuclear waste management is that the aspects related to safety, technical feasibility, financial arrangements and public acceptance have been taken into account appropriately in the national nuclear waste management programme. Furthermore, the pertinent infrastructure should exist for setting safety criteria, reviewing the safety assessments and planning financial arrangements, as well as for controlling the site selection for repositories and the actual realization of repository and waste handling facilities. In addition a sufficient independent knowledge has to be maintained in the state research institutes and universities to provide a sound scientific and technical basis for the authorities' decisions. In Finland the viewpoints mentioned above have been taken into account in the power companies' and authorities' present plans for managing the nuclear wastes appropriately. Consequently the only 'problem' remaining in the nuclear waste management is that because of practical reasons the final stages have been planned to be take place only after quite a long period.

#### **Utilization of radiation and justification of its use**

*Simo Rannikko (page 55)*

The article introduces different applications of the utilization of ionizing radiation. According to the basic phenomenon which is utilized, the applications are divided into three groups: radiation as a process agent, identification of the substance by the radiation, and radiation absorption by the material. The applications are selected randomly to describe the expansive use of radiation. Some Finnish figures are presented.

The justification of the usage of radiation is briefly considered. One figure calculated is the monetary value of the health detriment caused by the workers exposed to radiation. The amount of 200 000 FIM is calculated as the annual "health" cost of the whole usage of radiation in Finland with the exception of nuclear energy.

#### **The aim: sustainable development**

*Lasse Nevanlinna (page 58)*

Sustainable development is not endangered by the exhaustion of raw energy sources; environmental pollution, the

growing number of wastes and leaks, and the climatic changes due to the greenhouse effect are, in fact, threats of greater actuality. In order to obtain sustainable development, radical changes must be made in the acquisition and consumption of energy. The most essential of these changes are: stopping the increase in energy consumption, substituting coal for nuclear power, and fully promoting an increase of the biomass.

#### **Does nuclear power have a sex?**

*Ulla Sirkeinen (page 63)*

The discussions and decisions about nuclear power are mainly based on people's judgements and attitudes. These might be different according to the sex of a person, in other words, nuclear power can be seen to only serve the values and interests of the other sex. The exploitation of nuclear power, however, has widespread economic and other influences on the society, which are difficult to direct or distribute among different social groups.

#### **The great importance of nuclear power in the world's production of electricity**

*Ilkka Mäkipentti (page 65)*

In 1990, 17% of the world's electricity was produced by nuclear power. The highest proportion was produced by France: 75%. Finland came tenth, with 29%. The world's nuclear power capacity has continuously grown: in 1990 there was a 7600 MWe increase. The total capacity is 326 GWe (423 units), and 66 GWe (83 units) is under construction. Although the further development of nuclear power has slowed down, it is still expected to double or triple by the year 2020.

#### **The nuclear power plant resolution as part of the democratic process**

*Raimo Pekkanen (page 68)*

The new law on nuclear energy has considerably improved the resolution concerning the building of the new nuclear power plant, and, at the same time, made the proceedings more democratic. The authorization to build a nuclear power plant is nowadays granted by the government, but when it concerns the building of a nuclear power plant of great significance the government's decision in principle must be examined by parliament. The process has been made more democratic. The local and neighbouring municipalities plus the residents of the community, where the nuclear

power plant is to be built, have the possibility of influencing the resolution to build it.

#### **The problem of society's approval of nuclear power**

*Hannu Salokorpi (page 70)*

The discussion on nuclear power in Finland has overcome the initial difficulties. Opposition was strongest at the beginning of the 1980's and, naturally, also in 1986, when the unfortunate Chernobyl accident occurred. Nowadays, the discussion is relatively more balanced, and descriptions of horror are not used as much as before. Nevertheless, the reactions to information on nuclear power are very emotional. The material distributed by IVO and TVO is considered one-sided and false. Interestingly, now that Finland has somewhat clearly managed to prove the safety of its four nuclear power plants, the new objects of attack are the deposits of spent nuclear fuel, and the alleged uneconomic nature of power production.

#### **There is enough uranium in the world**

*Ilkka Mikkola (page 72)*

There will always be enough uranium available at prices that assure nuclear power's competitive advantage. The total amount of uranium is very large, approximately thousands of billions of tons. It is divided unevenly all over the world. Today the mining companies are not very interested in exploring new uranium deposits because they have economical resources for the next 30 years. In spite of only insignificant exploring, a new, large uranium deposit was discovered again in Canada in 1990; it is one of the richest in the world.

#### **Vulnerability of the Finnish energy system**

*Pekka Pirilä (page 73)*

The operation of society under normal conditions, as well as under a crisis, is critically dependent on the functioning of energy supply systems, in particular of the electricity network. The reliability of these systems is acceptable under normal conditions, but insufficient emphasis has been laid mitigating the risk posed by armed attacks on energy systems. With respect to the vulnerability of the energy system, nuclear energy has both advantages and significant, specific problems in comparison to other sources of energy.

#### **Small and passive or big and active?**

*Erkki Aalto (page 76)*

The concept of passive safety in nuclear reactors has led to two main development lines, i.e. the PIUS-type reactors without any moving safety components, and the designs evolving from the present light water reactors. It has been necessary to expand the term passive to mean that **no continuous** power is needed for safety functions, although some components may have to function once. The passive engineered safeguards are working on gravity, natural circulation and condensing etc. The plant power has been limited to 500—600 MWe by the capacity of the engineered safeguards. Thus the potential market is small.

As examples the most serious concepts, i.e. Westinghouse AP-600 and General Electric SBWR are presented. Although they shall be commercially available in the second half of the 90's it is concluded that a possible market break-through depends solely on their economic competitiveness, not on psychological factors like passive is safe or small is beautiful. The economics remain still to be proven.

#### **Plutonium, useless poison or inexhaustible energy source**

*Pekka Silvennoinen (page 79)*

The risks associated with separated plutonium can be mastered reliably, and therefore, plutonium has strategic potential to become an inexhaustible energy source. However, short and long term interests are in conflict. As the supply of uranium has exceeded requirements and the investment costs of a fast reactor have remained high, FBR is not competitive against LWR. There is no immediate incentive nor need to recycle plutonium. In the long term, on the other hand, it is only through large-scale use of plutonium and deployment of fast breeder reactors that fission can make a strategic contribution towards meeting the energy needs of the industrialized world. It is therefore necessary that large-scale studies on the utilization of plutonium continue inducing its incineration in light water reactors.

#### **Is fusion the final solution to the energy problem?**

*Seppo Karttunen (page 82)*

Fusion energy is a very promising alternative to the future energy demand. Unlimited fuel resources, practical emission and waste free energy production with

high power density are advantages which are not obtainable in any other energy system. Research in controlled thermonuclear fusion started already forty years ago. The progress has been rapid after the first tokamak experiments in the late sixties. The scientific feasibility of fusion energy is recently demonstrated with large tokamaks by creating the extreme plasma conditions — high temperature and confinement — which are needed for fusion reactions. There are, however, difficult technological problems to be solved in the next generation tokamak reactors such as the International Thermonuclear Experimental Reactor — ITER. These machines are under design, and the experimental programme is expected to start a few years after the year 2000. Experiments will take well over ten years so that the full-scale demonstration power plants are not likely to operate before 2020. This means that fusion is not a timely answer, but in long term, fusion energy has an excellent potential to be the final and sustained solution to the energy needs of mankind.

#### **Finnish nuclear engineering education; present situation and future trends**

*Heikki Kalli (page 85)*

The situation of nuclear engineering education in Finnish universities is presented. The annual need for new professionals is estimated, and the educational capacity is found to be sufficient. The future trends will depend on decisions about the fifth nuclear power plant unit. Suggestions are made to increase the interest of students in the nuclear field.

#### **Perspectives on the future of nuclear research**

*Jorma Routti (page 88)*

The energy management of the future, which is parallel with the targets of sustainable development, is based more and more on research and information. The present nuclear reactors use only the hundredth part of the energy contents of uranium. They will not take us too far into solving next century's energy problems, but at least they build bridges towards finding a solution. Research is of central importance in developing appropriate long-term solutions, such as breeder reactors, fusion energy and solar energy. Finland should play an active role in this international research and development, in addition to the development work of the safe and economic usage of the present nuclear power plants.

**Onnittelemme  
Atomiteknilistä Seuraa  
25-vuotisen toiminnan  
johdosta.**



**IMATRAN VOIMA OY**



**TEOLLISUUDEN VOIMA OY**

