

SUOMEN  
ATOMITEKNILLINEN  
SEURA-

ATOMTEKNISKA  
SÄLLSKAPET  
I FINLAND ry.

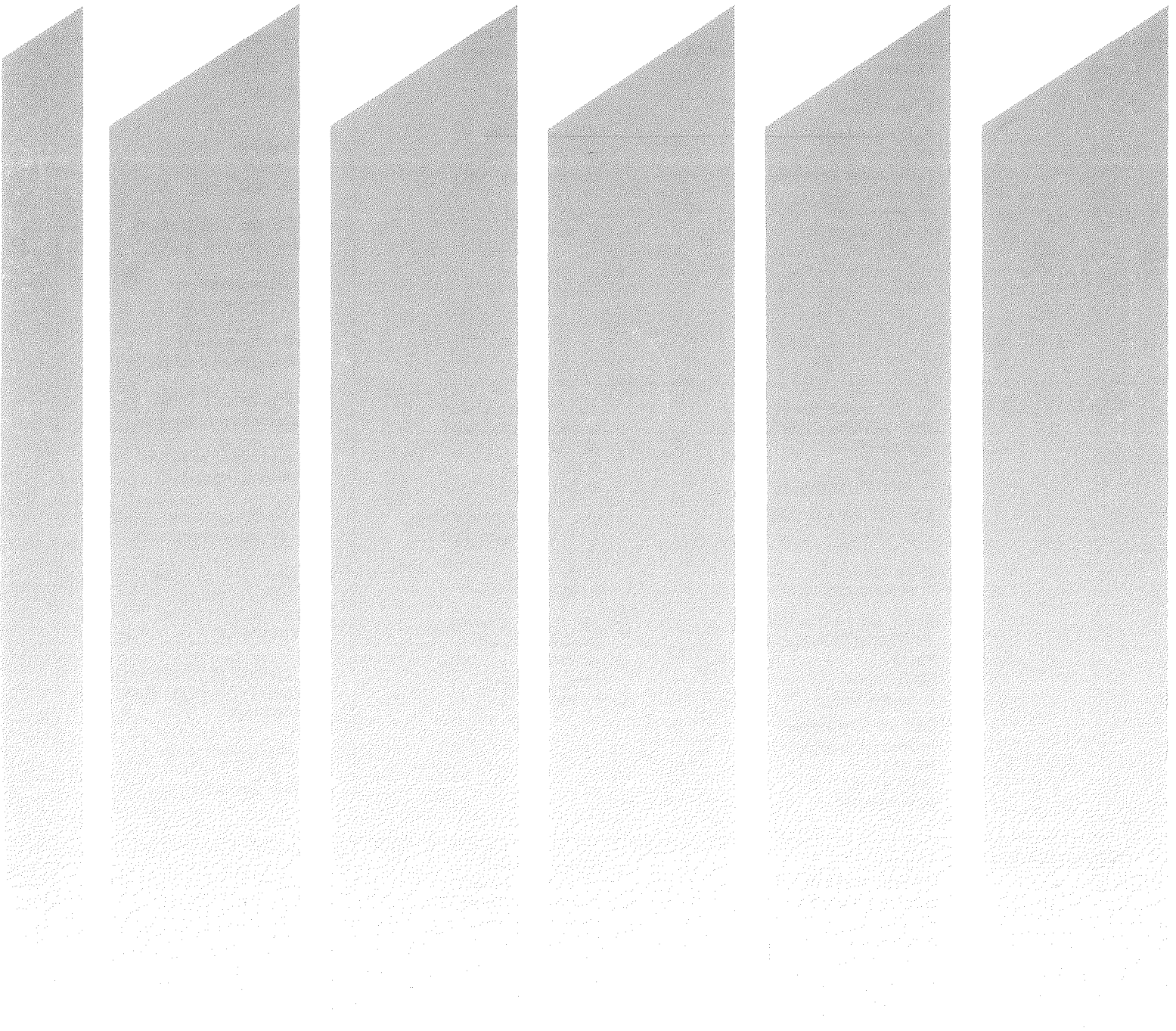


# ATS

## YDINTEKNIikka

3/92

vol. 21



# ATS

YDINTEKNIikka

3/92, vol. 21

**JULKAISIJA**

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

**TOIMITUS**

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

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

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

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

**JOHTOKUNTA**

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

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

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

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

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

Jäs. Tkl Rauno Rintamaa  
VTT/Metallilaboratorio  
Pl 26  
02151 Espoo  
P. 90-4566879

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

**TOIMIHENKILÖT**

Yleissihteeri  
DI Timo Jaakkola  
Imatran Voima Oy  
PL 112  
01601 Vantaa  
P. 90-5082469

Kans.väl.asioiden.siht.  
DI Jorma Aurela  
Imatran Voima Oy  
PL 23  
07901 Loviisa  
P. 915-5503040

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

**SISÄLTÖ**

**SÄTEILY**

Pääkirjoitus	1
Tietoa säteilystä .....	2
Käytännön säteilysuojelu ydinvoimalaitoksella ...	4
Säteilysuojeluko optimissaan .....	6
Work management occupational dose control	8
ICRP:n vuoden 1990 suositusten jälkeen ....	10
Luonnonsäteilyn viran- omaisvalvonta .....	13
Säteilyn aiheuttaman syövän synty molekyylitasolla .	15
Otaniemen Triga-reaktorin ja sillä tuotettujen radio- isotooppien säteilytekniset sovellutukset .....	17
EY-jäsenyyden ja ydinenergia EURATOM-sopimuksen vaikutukset .....	19
Lyhyesti maailmalta .....	23
English abstracts .....	26

DI Olli Vilkamo työskentelee säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusosastolla ja toimii polttoainekierto-  
toimiston vs. päällikkönä,  
p. 7082372.

Olli Vilkamo



## Säteily, ydintekniikka ja yhteiskunta

*Euroopan energiaperuskirjan nojalla on tarkoitus sopia keskeisistä turvallisuusperiaatteista, joita maanosamme ydinenergian käytössä noudatetaan. Ydinturvallisuuden yleiseksi tavoitteeksi määritellään yksilöiden, yhteiskunnan ja ympäristön suojeleminen tehokkain toimenpitein säteilyn haitoilta. Suomessa vastaava turvallisuusvaatimus on kirjattu ydinenergi lakiin.*

*Säteilyn ja ydinenergian käytön välinen yhteys on tiedossa kaikilla ydintekniikan parissa työskentelevillä. Kyseessä on myös asia, josta alan ulkopuoliset edellyttävät meiltä perusteltuja näkemyksiä ja oikeita tietoja. Useimmat Suomen Atomiteknillisen seuran jäsenistä työskentelevät kuitenkin teknologian tai hallinnon parissa, eivätkä ehkä ole saaneet koulutusta tavallista ihmistä kiinnostavista säteilyn vaikutuksista. Oman työn tiedolliset vaatimukset ovat kovat ja siksi vieraalta kalskettava säteilyterminologia ei tunnu houkuttelevalta perehtymiskohteelta. Edellä mainitulla on käänköpuolensa. Meidän, jotka työssämme paneudumme läheisemmin säteilykysymyksiin, on esitettävä tietomme mahdollisimman ymmärrettävästi.*

*Radioaktiivisia aineita ja niistä aiheutuvaa ionisoivaa säteilyä on nykyihmisen elinympäristössä ollut maailmankaikkeuden alusta asti. Pääosa väestöön kohdistuvasta ionisoivasta säteilystä on peräisin luonnosta, pienempi osa johtuu keinotekoisesta säteilystä ja tästä meillä Suomessa suurin osa säteilyn hyväksikäytöstä lääketieteessä. Ihmiseen kohdistuu myös ionisoimatonta säteilyä, joka on useimmiten luonnon alkuperää.*

*Säteilyn terveysriskejä tutkitaan ja nykyisin ne tunnetaan nykyisin riittävän hyvin realistisen suojautumistarpeen määrittelemiseksi. Ydintekniikan turvallisuutta voidaan verrata muihin teollisen yhteiskunnan riskeihin. Tämä vertailu vaatii näennäisestä yksinkertaisuudestaan huolimatta harkintaa. Osa ydinenergian mahdollisista haitoista sitoutuu hyvin epätodennäköisiin tapahtumiin ja jätehuollon osalta ulottuu ihmiskunnan nykyistä elinikää pitempien ajanjaksojen yli. Ydintekniikan turvallinen hyväksikäyttö edellyttää yhteiskunnalta teknisen osaamisen lisäksi halua ja kykyä toteuttaa yksilöiden, yhteiskunnan ja ympäristön suojelua.*

*Uskon, että ydinenergian käyttöön liittyvillä turvallisuusajatuksilla ja sitoutumisella käytännön työssä ymmärrettäviin ja hyväksyttäviin tavoitteisiin on maassamme selkeä viesti yhteiskunnan muille sektoreille. Tämänkertaisen lehden sisältö antaa oman näkökulmansa tämän viestikapulan eteenpäin viemiseksi.*

ATS YDINTEKNIikka (21) 3/92

### SÄTEILY

Vuoden 1992 numeroiden teemat ovat:

- No. 1 Ydinvoima ja asenteet  
dead-line 31.1.
- No. 2 Turvallisuuden arviointi  
dead-line 30.4.
- No. 3 Säteily  
dead-line 15.8.
- No. 4 Yhdysvallat

Vuosikerran tilaushinta muilta kuin  
ATS:n jäseniltä: 200 mk

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

Toimituksen osoite:

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

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

ISSN-0356-0473

## Tietoa säteilystä

Suomenkielinen nimi	Englanninkielinen nimi	Tunnus	Yksikön tunnus
Hiukkasten määrä	Particle number	N	1
Säteilyenergia	Radiant energy	R	J
Hiukkaskertymä	Particle fluence	$\Phi$	$\text{m}^{-2}$
Energiakertymä	Energy fluence	$\Psi$	$\text{J m}^{-2}$
Hiukkaskertymänopeus	Particle fluence rate	$\phi$	$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Energiakertymänopeus	Energy fluence rate	$\psi$	$\text{W m}^{-2}$
Vaikutusala	Cross section	$\sigma$	$\text{m}^2$
Massavaimennuskerroin	Mass attenuation coefficient	$\mu/\rho$	$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$
Energianluovutuksen massakerroin	Mass energy transfer coefficient	$\mu_{tr}/\rho$	$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$
Energia-absorption massakerroin	Mass energy absorption coefficient	$\mu_{en}/\rho$	$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$
Kokonaismassajarrutuskyky	Total mass stopping power	$S/\rho$	$\text{J m}^2 \text{kg}^{-1}$
Energiansiirtokyky	Linear energy transfer	$L_{\Delta}$	$\text{J m}^{-1}$
Keskimääräinen energiahäviö muodostunutta ioniparia kohti	Mean energy expended per ion pair	W	J
Absorboitunut annos	Absorbed dose	D	Gy
Absorptioannosnopeus	Absorbed dose rate	D	$\text{Gy s}^{-1}$
Kerma	Kerma	K	Gy
Kermanopeus	Kerma rate	K	$\text{Gy s}^{-1}$
Säteilytys	Exposure	X	$\text{C kg}^{-1}$
Säteilytysnopeus	Exposure rate	X	$\text{C kg}^{-1} \text{s}^{-1}$
Annosekvivalentti	Dose equivalent	H	Sv
Annosekvivalenttinopeus	Dose equivalent rate	H	$\text{Sv s}^{-1}$
Efektiiivinen annosekvivalentti	Effective dose equivalent	$H_E$	Sv
Vapaa annosekvivalentti	Ambient dose equivalent	$H^*(d)$	Sv
Suunnattu annosekvivalentti	Directional dose equivalent	$H'(d)$	Sv
Kehon syväannosekvivalentti	Individual dose equivalent, penetrating	$H_p(d)$	Sv
Kehon pinta-annosekvivalentti	Individual dose equivalent, superficial	$H_s(d)$	Sv
Kollektiivinen annos	Collective dose	S	manSv
Annositouma	Dose equivalent commitment	$H_c$	Sv
Annoskertymä	Committed dose equivalent	$H_{50}$	Sv
Aktiivisuus	Activity	A	Bq
Aktiivisuuskate	Surface activity	$A_s$	$\text{Bq m}^{-2}$
Ominaisaktiivisuus	Specific activity	$a$	$\text{Bq kg}^{-1}$
Aktiivisuuskonsentraatio	Activity concentration	$c_A$	$\text{Bq m}^{-3}$
Puoliintumisaika	Half-life	$T_{1/2}$	s
Hajoamisvakio	Decay constant	$\lambda$	$\text{s}^{-1}$
Kermanopeuskerroin	Air-kerma rate constant	$\Gamma_{\delta}$	$\text{Gy m}^2 \text{Bq}^{-1} \text{s}^{-1}$

## Biologinen vaikutus

Todennäköisyyskerroin(% Sv<sup>-1</sup>)

	Työikäinen väestö	Koko väestö
Syöpäkuolleisuus	4.0	5.0
Muut syövät <sup>1)</sup>	0.8	1.0
Periytyvät vakavat haitat	0.8	1.3
<b>Kokonaishaitta</b>	<b>5.6</b>	<b>7.3</b>

1) Kertoimet on saatu syöprien ilmaantumisluvuihin siten, että ne on painotettu kertomalla ilmaantumisluvut todennäköisyydellä, jolla syöpälaji aiheuttaa kuoleman.

## Stokastisten vaikutusten nimelliset todennäköisyyskerroimet

	Annosraja (mSv) Säteilyöntekijät Väestö	
Efekttiivinen annos	20 <sup>1)</sup>	1 <sup>2)</sup>

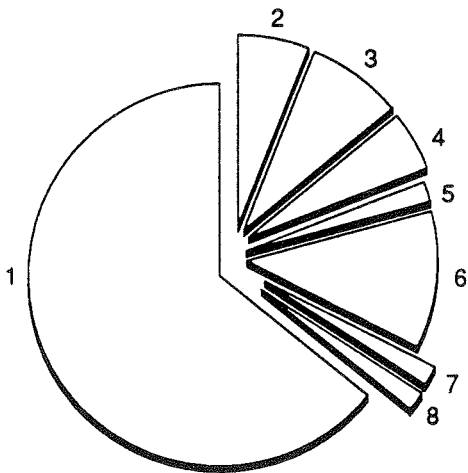
### Ekvivalenttiannos

Silmän linssi	150	15
iho <sup>3)</sup>	500	50
kädet ja jalat	500	--

1) Keskimäärin viiden vuoden aikana; minään vuonna annos ei saa ylittää 50 mSv. Viiden vuoden jakson määrittelee viranomainen, esimerkiksi kalenterivuosina. Jaksoa ei pitäisi valita taannehtivasti.

2) Yhtenä vuotena annos voi olla suurempikin, kunhan viideltä vuodelta laskettu keskiarvo ei ole yli 1 mSv. Jakso pitäisi valita taannehtivasti.

3) Annos lasketaan enintään yhtä neliösenttimetriä kohti. Tarkastelukohde valitaan syvyydeltä 0.07 mm (7 mg cm<sup>-2</sup>)



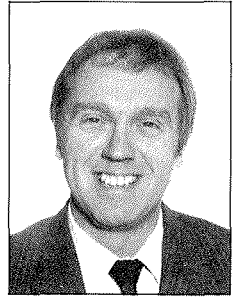
1	Radon	noin 4 mSv
2.	Luonnon radioaktiiviset aineet kehossa	0,4 mSv
3.	Ulkoinen säteily luonnossa	0,5 mSv
4.	Avaruussäteily	0,3 mSv
5.	Radionuklidien käyttö	0,1 mSv
6.	Röntgentutkimukset	0,7 mSv
7.	Tshernobyl, ulkoinen säteily	0,1 mSv
8.	Tshernobyl, sisäinen säteily	0,1 mSv

## Säteilyn toimenpiderajat

Viranomaisten keskinäinen ilmoitusraja 0.0007 mSv/h, mikä on 5-10 kertainen verrattuna normaaliin Suomessa tavattavaan säteilytasoon.

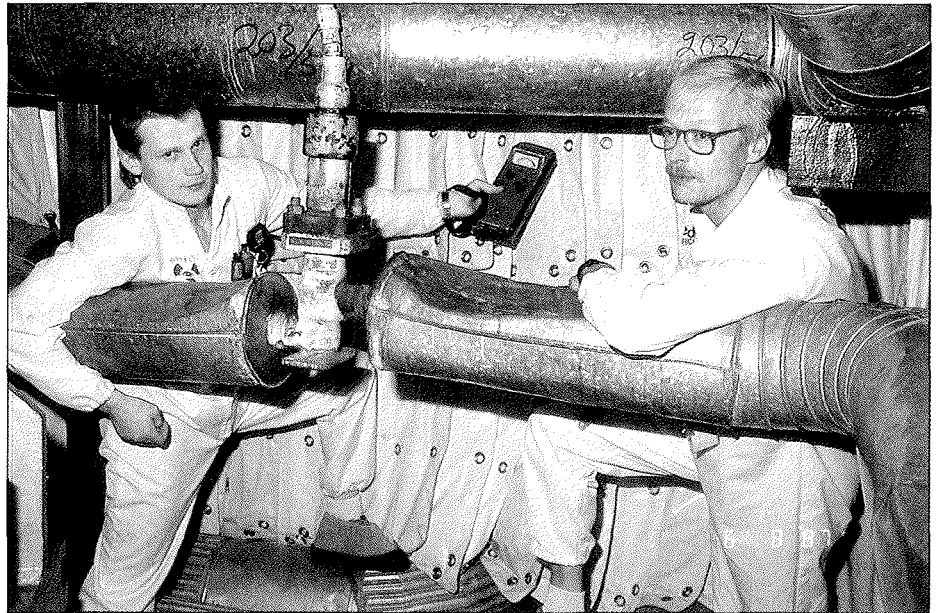
Väestön varoittaminen tiedotusvälineiden kautta 0.2 mSv/h.

Yleinen hälytys välitöntä suojautumista varten 2 mSv/h.



# KÄYTÄNNÖN SÄTEILYSUOJELU YDINVOIMALAITOKSELLA

*Suomen ydinvoimalaitoksilla runsaat 3000 henkilöä työskentelee vuosittain sellaisissa oloissa, että heidän henkilökohtaisia säteilyannoksiaan joudutaan seuraamaan. Näistä henkilöistä noin puolet saa kirjausrajan ylittävän annoksen. Vaikka henkilökohtaiset annokset eivät yleensä ole suuria, ne edustavat kuitenkin kolmea neljäsosaa suomalaisten säteilyöntekijöiden kollektiivisesta säteilyannoksesta. Suomalaisten ydinvoimalaitosten vuotuiset kollektiiviset annokset ovat maailman pienimpiä.*



*Lyijymatoista on rakennettu suoja säteilevän lämmönvaihtimen eteen. Nyt voi olla etualalla näkyvän venttiilin korjaus alkaa.*

Suomalaiset ydinvoimalaitokset ovat ulkomailta saavuttaneet mainetta ei ainoastaan suurista käytettävyyksiluvuistaan vaan myös pienistä säteilyannoksistaan ja pienistä radioaktiivisuuspäästöistään. Loviisan ja Olkiluodon voimalaitosten säteilyannokset ovat jatkuvasti olleet maailman pienimpiä.

USA:ssa, jossa yli neljäsosa maailman kaikista 430 ydinvoimalaitoksesta sijaitsee, henkilökunnan kollektiivisen annoksen (henkilökohtaisten annosten summa, yksikkö 1 manSv = 1000 manmSv) normaali arvo oli 80-luvun alkupuoliskolla keskimäärin 7-8 manSv/v laitossyksikköä kohti. Vuoden 1985 jälkeen vastaava arvo on ollut noin 5 manSv/v. Tilanne Japanissa on vain vähän parempi. Euroopan suurissa ydinvoimamaissa, Saksassa ja Ranskassa, liikutaan tasolla 2-3 manSv laitossyksikköä kohti. Suomalaiset laitokset ovat aiheuttaneet henkilökunnalleen keskimäärin 0,8 manSv vuodessa.

Myös henkilökohtaiset säteilyannokset ovat Suomen neljässä ydinvoimalaitoksessa yleensä pysyneet varsin pieninä. Noin puolet ydinvoimalaitostyöntekijöiden vuotuisista säteilyannoksista jää alle 1 mSv, 90 % jää alle 5 mSv ja vain erittäin harvoin on jonkun henkilön vuotuisen annos noussut 20 mSv:iin. Annosrajan ylityksiä ei ole tapahtunut Suomen ydinvoimalaitoksilla koskaan.

## Valvonta-alueen erikoinen maailma

Monissa ydinvoimalaitoksen rakennuksissa ei säteile. Rakennukset ja laitososat, joissa kaikki radioaktiiviset järjestelmät sijaitsevat, muodostavat yhtenäisen alueen, jota sanotaan valvonta-alueeksi. Valvonta-alueella varaudutaan aina säteilyn ja radioaktiivisen kontaminaation esiintymiseen.

Mentäessä valvonta-alueelle riisutaan tavallisesti muut vaatteet kuin alusvaatteet, sukat ja jalkineet. Sitten puetaan suoja-haalarit ja kenkäsuojat ylle. Niissä huoltotöissä, joissa kontaminoitumisriski on olemassa (esim. käsiteltäessä radioaktiivisten järjestelmien sisäosia) käytetään lisäksi tarpeen mukaan erilaisia käsinettä, saappaita, muovihaalareita ja hengityssuojaimia. Pakollisessa kirjallisessa "säteilytyöluvussa" voidaan tarvittaessa kokonaan kieltää omien vaatteiden käyttö. Tällöin myös alusvaatteet, sukat ja kenkä saa lainaksi työn ajaksi.

Säteilyn perusteella valvonta-alueen huoneet on luokiteltu eri luokkiin, joiden mukaan määräytyvät mahdolliset oleskelurajoitukset tai suojavaatevaatimukset. Suomessa on käytössä kolme luokkaa ja ne merkitään ovikilpiin liikennevalojen väreihin.

Valvonta-alueella työskentelevät käyttävät henkilökohtaisia dosimetrejä. Kaikissa

Suomen ydinvoimalaitoksissa on käytössä termoloidostedosisimetrit (TLD) eikä filmidosimetrejä. TLD:t ovat herkkiä ja niiden käyttö on joustavaa. Ne voidaan lukea erityisellä lukulaitteella milloin vain ja ne ovat lukemisen jälkeen jälleen käyttökelpoisia. Normaalisti henkilökunnan dosimetrit luetaan kuukausittain.

Poistuttaessa valvonta-alueelta käydään "henkilömonitorissa", joka muutamassa sekunnissa tarkistaa, onko ihossa tai vaatteissa kontaminaatiota. Suojavaatteet pestään laitoksen omassa pesulassa. Kontaminoitunut vesi otetaan kontrolloidusti talteen erikoisviemärijärjestelmään mittausta ja puhdistusta varten.

## Säteilyturvallisuus ja säteilysuojelutyö

Ydinvoimalaitoksen käytön aikaiseen säteilyturvallisuuteen vaikuttavat ratkaisevasti reaktorijärjestelmän materiaalivalinnat ja laitoksen lay-out. Myös vesikemia, laitoksen käyttötapa ja ydinpolttoaineen tiiveys vaikuttavat eri järjestelmien säteilyyn. Prosessivesiin joutuneet fissiotuotteet ja vedessä olevat reaktorin neutronivuossa aktivoituneet korroosiotuotteet ja kemikaalit kulkeutuvat vesien mukana eri järjestelmiin ja asettuvat näiden sisäpinnoille. Työskentely näiden järjestelmien parissa tai niiden läheisyydessä aiheuttaa säteilyaltistusta.



Säteilysuojelunormien mukaan voidaan säteilyaltistus hyväksyä vain, jos 1) toiminnalla saavutettava hyöty on suurempi kuin siitä aiheutuva haitta, jos 2) toiminta on siten järjestetty, että säteilyaltistus pidetään niin alhaisena kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista ja jos 3) yksilön säteilyaltistus ei ylitä tiettyjä enimmäisarvoja (ns. annosrajat). Nämä ehdot on annettu säteilylaissa (592/91) ja annosrajat säteilyasetuksessa (1512/91). Ydinvoimalaitoksen organisaatioon kuuluu säteilysuojeluryhmä, joka huolehtii ehtojen noudattamisesta käytännössä.

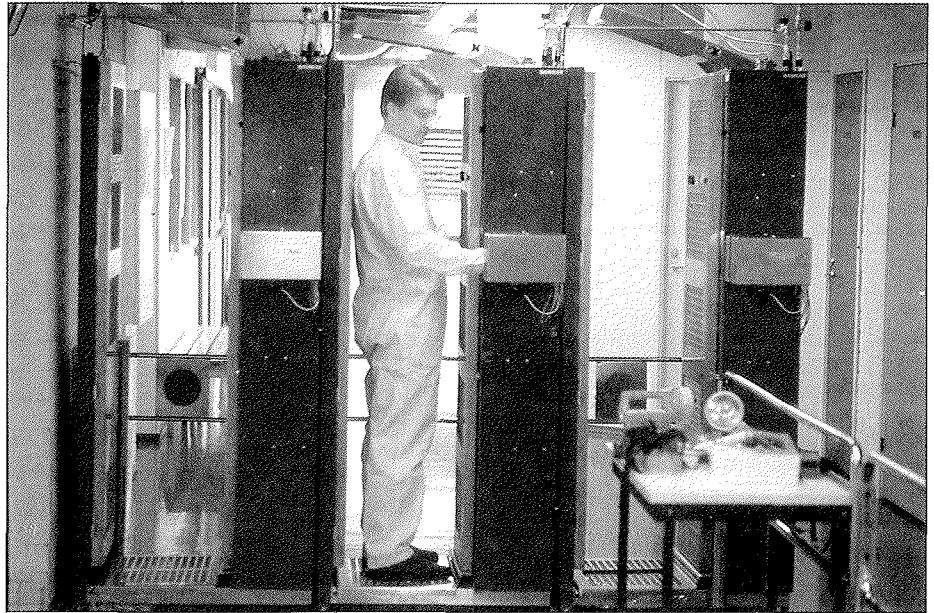
Säteilysuojeluryhmän tehtävistä mainittakoon mm. vakinaisen ja tilapäisen henkilökunnan säteilysuojelukoulutus, opastus ja neuvonta, valvonta-alueen henkilö- ja materiaali liikenteen valvonta, säteilytyölupien antaminen, säteilysuojeluvälineiden hankkiminen, varastointi ja huolto, säteilyannosten tarkkailu, kirjanpito ja raportointi, laitosilöjen säteilyolosuhteiden seuranta ja huoneiden luokitus, kiinteästi asennettujen ja kannettavien säteilymittareiden määräaikaistarkastukset, prosessiaktiivisuuksien ja radioaktiivisten päästöjen seuranta ja radioaktiivisten jätteiden käsittelyn järjestäminen ja kirjanpito sekä näihin toimintoihin liittyvä raportointi säteilyturvakeskukseen.

#### Opiskelijoista suurta apua revisiossa

Yleensä henkilökunta ei altistu säteilylle normaalin tehokäytön aikana, vaan säteilyannoksia saadaan seisokeissa, jolloin mennään töihin säteilevien järjestelmien pariin ja työskennellään huoneissa, joihin ei käytön aikana mennä. Mitä paremmin laitos käy, sen lyhyempiä seisokkeja ja sitä vähemmän säteilyaltistusta.

Vuosihuoltojen eli "revisioiden" aikana laitokselle saapuu noin 1000 tilapäistä työntekijää, joista suurin osa joutuu annostarkkailun piiriin. Myös säteilysuojeluryhmää vahvistetaan pitkien seisokkien ajaksi, koska silloin ryhmän taitoja punnitaan ja työ muuttuu kolmivuorotyöksi. Tilapäisenä säteilysuojeluryhmän vahvistuksena käytetään eri korkeakoulujen fyysikan ja sähkötekniikan opiskelijoita.

Nuoret "ensikertalaiset" palkataan avustaviin tehtäviin. Vuosihuollon aikana esim. kymmeniä tonneja liijysuojia joudutaan siirtämään paikasta toiseen, rakentamaan ja purkamaan. Joka päivä satoja suojajalareita ja tuhansia kenkäsuojia jaetaan, kerätään ja kuljetetaan pesulan ja kulutuspisteiden välillä, naamareita huolletaan ja varastoja täytetään.



Poistuminen valvonta-alueelta tapahtuu henkilökontaminaatiomonitorin kautta, jossa muutamassa sekunnissa tarkistetaan vaatteiden ja ihon puhtaus.

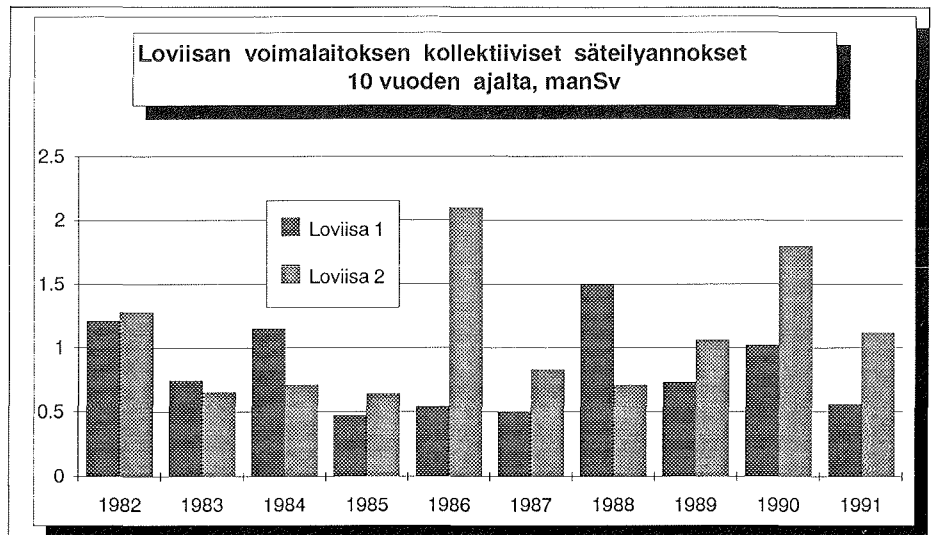
Näiden töiden kautta säteilysuojelutyöhön tutustuneet opiskelijat voidaan seuraavina vuosina palkata revisiotöihin määräaikaiksi säteilyvalvojiksi, jolloin heidän tehtävänsä ovat vaativampia ja enemmän teknisiä sekä edellyttävät omaa päätöksentekoa.

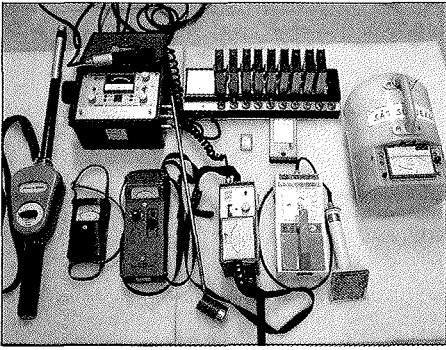
IVO ja TVO palkkaavat vuosittain useita kymmeniä opiskelijoita säteilysuojelutehtäviin. Opiskelijoilla on hyvät teoreettiset taustatiedot. Alkeishiukkasten ja milliseiverttien maailma on heille tuttu. Lyhyt koulutus "talon tapoihin" riittää pereh-

dytykseksi. Useat tällä tavalla uransa aloittaneet nuoret ovat myöhemmin saaneet vakinaisen työpaikan IVO:sta, TVO:sta tai STUK:sta.

#### Ydinvoimalaitoksen säteilysuojelun erityispiirteet

Jos kysytään nuklidilaboratorion päälliköltä, sairaalan tai teollisuuden röntgenkoneen hoitajalta ja ydinvoimalaitoksen säteilysuojeluhenkilöltä mitä hän ymmärtää säteilysuojelutyöllä, niin ainakin vii-





Valikoima säteilysuojeluryhmän henkilökohtaisia työkaluja eli säteilymittareita. Eri säteilylaitteet vaativat kukin oman instrumenttiyppinsä.

meksi mainittu vastaa eri tavalla kuin muut. Ydinvoimalaitoksen säteilysuojelutoimintaan liittyy monta erikoispiirrettä.

Ydinvoimalaitoksella säteilyä ei voi sammuttaa katkaisijasta, eikä se tule yhdestä pisteestä vaan "joka puolelta" laajoista säteilylähteistä ja se voi (prosessivesien ja -kaasujen muodossa) karata ja vapautua huonetilaan. Useissa töissä täytyy ulkoisen säteilyn lisäksi ottaa huomioon radioaktiivinen kontaminaatio ja sisäisen kontaminoitumisen riski. Tämä edellyttää suojavarusteiden harkittua käyttöä. Tilanteissa, joissa esiintyy sekä ulkoista säteilyä että kontaminaatiota, voi liian raskaan suojavarustuksen käyttö johtaa suurempaan kokonaisannokseen kuin työn tekeminen kevyemmällä varustuksella. Samoin voi liian vähäisestä tai liiasta lyijymatoilla suojaamisesta seurata suurempi kollektiivinen säteilyannos kuin oikeasteisella suojaamisella.

Juuri kollektiivisen säteilyannoksen jatkuva ajattelu on myös tunnuso- maista ydinvoimalaitoksilla. Säteilyannosrajat takaavat, että säteilyn aiheuttama haitta tai riski on kunkin yksilön kohdalla hyväksyttävän pieni. Ihmiskuntaan kohdistuva riski määräytyy kollektiivisen annoksen mukaan. Kun vuosihuoltojen aikana yli tuhat henkilöä—joista monelle säteily on tuntematon peikko—altistuu säteilylle työpaikalla, joka kooltaan vastaa kymmentä eduskuntataloa, on kollektiivisen annoksen seuranta ja hallitsemisen todella haasteellinen tehtävä.

Siinä tehtävässä Suomen ydinvoimalaitokset ovat onnistuneet paremmin kuin lähes kaikki muut.

fil. Lis. Björn Wahlström on Loviisan ydinvoimalaitoksen säteilysuojelupäällikkö, p. 915-5503900.

**Kansainvälinen säteilysuojelujärjestö ICRP määrittelee säteilyn käytön ja säteilysuojelun kolme peruseriaatetta; OIKEUTUS-, YKSILÖNSUOJA- ja OPTIMOINTI-periaatteet. Valtiovalta määrittelee lainsäädännön ja kansallinen viranomaisen ohjeittensa avulla ne säteilysuojeluperiaatteet, joita Suomessa tulee noudattaa.**

**Yksittäinen voimayhtiö ja sen säteilysuojeluorganisaatio toteuttaa ja kehittää omaa säteilysuojelupolitiikkaansa huomioiden em. määräykset ja ohjeet; mutta lisäksi sen tulee ottaa huomioon oma henkilökunta, aliurakoitsijat, yhtiön talous, yhtiön osakkaat, ympäristön paine, laitteiden valmistajat, jne.**

**Em. seikoista johtuen säteilysuojelun toteutus vaihteleeikin jossain määrin eri voimayhtiöiden kesken. Peruseriaatteet ovat kuitenkin yhteisiä.**

Säteilysuojelu on niin TVO:lla kuin myös muilla pohjoismaisilla ydinvoimalaitoksilla vähintäänkin hyvällä kansainvälisellä tasolla. Tämän osoittavat maailmanlaajuisestikin hyvin pienet säteilyannokset niin kollektiivisesti kuin myös yksilötasolla. En kuitenkaan lähde kertomaan miten näihin tuloksiin on päästy, vaan esitän näkemyksiäni miten säteilysuojelua edelleen voitaisiin kehittää ja miten TVO:lla nähdään säteilysuojelun tulevaisuus. B. Wahlström Loviisasta kertoo toisaalla tässä lehdessä käytännön säteilysuojelutyöstä ja sillä saavutetuista tuloksista.

#### PERUSERIAATTEET

OIKEUTUS-periaate tarkoittaa, että säteilyn käytöstä saatava hyöty tulee olla sen aiheuttamaa haittaa suurempi. Ydinvoimalaitoksen toimissa korkealla käyttöasteella, ja työntekijöiden sekä ympäristön annosten ollessa pieni, näin varmasti on.

YKSILÖNSUOJA-periaate edellyttää, että viranomaisten asettamia annosrajoja ei ylitetä. Vuoden alusta Suomessakin otettiin käyttöön tiukemmat yksilöä koskevat annosrajat kansainvälisten suositusten mukaisesti. Muutos merkitsee, että yksilön annos ei viiden vuoden keskiarvona saa ylittää 20 mSv/a. Annosrajan muutos 50 mSv:stä 20 mSv:iin ei vaikuttane suo-

malaisilla ydinvoimalaitoksilla suurikaan, sillä vuoteen 1991 mennessä kenekään ydinvoimatyöntekijän ei ole todettu ylittäneen 20 mSv/a viiden vuoden keskiarvona. Teoriassa ja suurissa ydinvoimaimaissa myös käytännössä tällainen yksilöannosrajojen laskeminen merkitsee kollektiiviannosten kasvua, kun työvoiman kokonaisuutena joudutaan kasvattamaan, jotta yksilöannosrajat eivät ylittyisi.

OPTIMOINTI-periaatteen mukaan säteilyannokset tulee pitää niin alhaisina kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista. Tämä pitää sisällään myös ns. ALARA-toiminnan. Mitä tarkoittaa "niin alhaisina kuin käytännöllisinä toimenpiteinä on mahdollista"? Kyse on paljolti henkilökohtaisista näkemyksistä ja tuntemuksista, mistä johtuen tulkintaeroja lienee eri voimalaitosten ja henkilöiden kesken. Suomessa, jossa säteilysuojelu on korkealla kansainvälisellä tasolla ja jossa säteilysuojelu on huomioitu jo laitoksia rakennettaessa, säteilyannosten optimoinnissa onkin pitkälti kyse niiden minimoinnista.

#### SÄTEILYSUOJELU — OSA TYÖSUOJELUA

Työsuojelun peruseriaatteena on, että linjaorganisaatio ja erityisesti henkilöt it-





# SÄTEILYSUOJELUKO OPTIMISSAAN

se hoitavat omaan työhönsä liittyvät työsuojeluasiat. Jokainen on niinsanotusti ”oman onnensa seppä”. Miksi näin ei toimita säteilysuojelukin yhteydessä? Onko säteily paljon vaarallisempaa kuin työsuojelussa myrkylliset kaasut, syöpää aiheuttavat aineet, säiliöissä tai korkealla työskentely? Mielestäni ei. Kyse on siitä, että mittalaitteet olivat aiemmin alkeellisia ja henkilöiden säteilysuojelukoulutus alhaisella tasolla. Siksi piti olla erityinen koulutettu säteilysuojeluryhmä mittaamassa säteilyä sekä opastamassa ja valvomassa miten säteilyn parissa työskennellään.

Nyt tilanne on toinen. Lähes jokaisella henkilöllä on tai ainakin voisi olla helposti luettava annos-/annosnopeusmittari. Kukin säteilyn kanssa työskentelevä saa perusteellisen säteilysuojelukoulutuksen ja myös yleinen koulutus- ja tietämystaso on noussut.

Olen vakuuttunut siitä, että henkilöturvallisuus ei ainakaan laske, jos vastuuta omasta säteilysuojelusta siirretään yhä enenevässä määrin henkilöille itselleen pois erilliseltä säteilysuojeluorganisaatiolta. Vastuun myötä myös työmotivaatio kasvaa. Erillistä säteilysuojeluorganisaatiota ei tietystikään voi täysin lopettaa, vaan heille jää edelleenkin esim. mittarien kalibrointi, dosimetria, säteilysuojelukoulutus sekä säteilysuojelullisesti vaativien töiden suunnittelu ja valvonta.

## TUTTAVA-TOIMINTA

TVO:lla on käynnistetty pienessä mitta-kaavassa ns. TUTTAVA-toiminta (Turvallisesti tuottavat työtaVat), joka tullaan laajentamaan koko TVO:ta koskevaksi. Tässä on kyse nimenomaan siitä, että henkilöt itse kehittävät työympäristöä turvalliseen suuntaan huomioimalla työpaikan järjestys ja siisteys. Järjestys ja siisteys kulkevat käsi kädessä hyvin hoidetun säteilysuojelun kanssa.

## MONITOIMITYÖNTEKIJÄ

Ydinvoimayhtiöiden oma organisaatio kuten myös revisioaikainen ulkopuolisten työntekijöiden määrä pyrkii kasvamaan vuodesta toiseen. Säteilysuojelumielessä jokainen lisähenkilö tuo kuitenkin oman lisänsä myös kokonaissäteilyannokseen, joten henkilömäärää pitäisi päinvastoin pienentää mutta miten. TUTTAVA-toiminta antaa tähän suuntaviivoja. Ammattimies pitää työpaikkansa siistinä ja järjestyksessä. Ammattimies, esim. kone-

asentaja, voi myös rakentaa omalle asennustyömaalleen telineet, irrottaa ja asentaa eristeet jne. Vastaavanlaista toimenkuvan monipuolistamista voidaan toteuttaa kaikilla ammattiryhmillä. Näin saadaan ”turhat” henkilöt pois säteilyn piiristä ja annokset pienemmiksi. Toimenkuvan monipuolistaminen lisää työmotivaatiota ja tuo mukanaan uusia haasteita.

## URAKOITSIJAT JA KOULUTUS

Vuosihuollossa ydinvoimalaitoksilla ainakin TVO:lla on perinteisesti yli 100 urakoitsijayhtiötä ja yli 1000 näiden yhtiöiden työntekijää, jotka saavat 70–80 % kaikista säteilyannoksista. Em. henkilöiden säteilysuojelukoulutukseen tuleekin jatkossa kiinnittää erityistä huomiota. Koulutus pitäisi toteuttaa yritys-, ammattiryhmä- ja työkohtaisesti. Jotta koulutus voitaisiin toteuttaa tehokkaasti, tulisi käytettävien yritysten määrää vähentää 30–40:een. Näillä yrityksillä pitäisi olla ns. ”vastuullinen johtaja”, jolla olisi hyvä säteilysuojelualan tuntemus ja jonka avulla voimayhtiöt voisivat koordinoidusti välittää tarvittavaa säteily-/säteilysuojelutietoa yrityksen työntekijöille voimayhtiöiden antaman oman koulutuksen lisäksi. Säteilysuojelukoulutustietojen tallentamisesta tulisi menetellä samoin kuin säteilyannosten tallentamisesta annosrekisteriin; kansallinen ja pohjoismainen koulutusrekisteri. Näin voitaisiin kohdistaa koulutus oikein ja välttyttäisiin saman koulutuksen turhalta toistolta.

## ONLINE-ANNOSMITTARIT

Jos ja kun säteilysuojeluvastuuta siirretään säteilyvalvontaorganisaatiolta työn suorittajille, asettaa se myös uusia vaatimuksia annosvalvonnalle. Nykyisin on jo käytössä osoittavia elektronisia annosmittareita, joilla henkilöt voivat itse seurata saamaansa säteilyannosta. Mittarien käyttö tulee kuitenkin laajentaa koskemaan jokaista valvotulla alueella työskentelevää. Mittarien luotettavuuden parantamiseksi sekä koon ja painon pienentämiseksi tulisi GM-putket korvata esim. jollain puolijohteella ja samalla vähentää virran kulutusta niin, että myös paristojen koko pienenee. Dosimetrijärjestelmää voitaisiin tulevaisuudessa kehittää edelleen niin, että dosimetristä saadaan työkohteen annosnopeustiedot ja henkilön annostiedot suoraan online-tietona säteilyvalvonnan valvontapisteeseen. Näin muuttuneista olosuhteista työkohteessa saataisiin välittömästi tieto säteilyvalvontapisteeseen ja voitaisiin heti ryhtyä suojelutoimenpiteisiin.

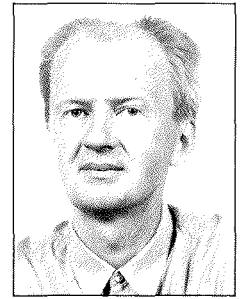
## OHJELMA ANNOSTEN PIENENTÄMISEKSI

TVO:lla on muutaman viime vuoden ajan toteutettu systemaattista annosten pienentämishohjelmaa. Ohjelmaan on otettu mukaan asioita, joiden muualla maailmassa on todettu merkittävästi pienentävän annoksia ja jotka ovat TVO:ssa toteuttamiskelpoisia. Mukana on myös sellaisia asioita, joiden on TVO:ssa todettu jostain muusta syystä vaativan parannusta. Monet ohjelmassa mukana olevat asiat parantavat annosten pienentämisen ohella myös itse prosessia, joten optimointi-/ALARA-tarkastelu annosten suhteen on useimmiten melko mahdollonta. Ohjelmaan kuuluu mm. seuraavia asioita; lauhteenpuhdistuksen parantaminen ja sitä kautta Co-60-pitoisuuden lasku reaktori-rivedessä, reaktorin alasajon vaikutus crudi-pitoisuuksiin, höyrynkosteuden minimointi, selvitystyö vaihdettavien putkien pintakäsittelyn (elektropolishing) vaikutuksesta putkien pintojen kontaminoitumiseen, korkea-kobolttisten (stelliitti) materiaalien vaihto korvaaviin matala-kobolttiin materiaaleihin, korroosiota vähentävät prosessimuutokset, työmenetelmien ja koulutuksen kehittäminen jne. Ohjelman toteutusta valvoo ALARA-ryhmä, jossa ovat edustettuna käyttö, kunossapito, tekniikka, turvallisuus ja säteilysuojelu. ALARA-ryhmä käsittelee myös muita säteilysuojeluun ja annoksiin vaikuttavia tekijöitä toimien em. organisaatioita edustavana alan asiantuntijaryhmänä.

## ANNOKSET MINIMOITU VIIDENNESSÄ YDINVOIMALAITOKSESSA

Säteilysuojelu on kehittynyt ja annokset pienentyneet suurella harppauksella aina ydinvoimalaitossukupolven vaihtuessa. Parhaat tulokset säteilysuojelussa saavutetaan itse prosessia, rakenteita ja layoutia kehittämällä. Käytännön säteilysuojelutyössä kyetään annoksiin vaikuttamaan merkittävästi vähemmän. Suomi onkin juuri nyt uuden haasteen edessä; viidennelle ydinvoimalaitokselle on asetettu vuosiansosrajaksi 0,5 Sv, kun se nykyisillä laitoksilla on noin 1 Sv vuodessa.

DI Reijo Sundell on Olkiluodon ydinvoimalaitoksen teknisen valvontatoimiston päällikkö, p. 938-3815000.



# WORK MANAGEMENT IN OCCUPATIONAL DOSE CONTROL

*The control of occupational doses in nuclear installations is a major challenge. There is evidence that this challenge is being met in many countries; the trend of increasing individual and collective doses to workers observed during the 1970's and early 1980's has been halted in most countries, and the significant differences in collective doses per unit of energy generated for the same type of reactor are diminishing. Nevertheless, there is no room for complacency because as plants become older there is a general tendency for doses to increase as a result of both routine operations and large scale maintenance and repair work. Furthermore, the recent ICRP Publication 60 recommending reduced dose limits for workers will further focus the attention on occupational exposure and the application of the ALARA principle.*

The concept of ALARA, an abbreviation for "As Low As Reasonably Achievable", was introduced by the ICRP about 20 years ago and is equivalent to the principle of optimisation of protection. Initially, the ICRP focussed heavily on cost benefit analysis and the issues of how to derive a monetary value for the unit of collective detriment and to look for examples of the use of cost benefit analysis. However, it was gradually realized that ALARA was about decision-making in more general terms and not necessarily just quantitative techniques.

To take stock of the situation concerning the practical results achieved by applying work management in the control of occupational doses, a subject which to date has only received limited attention, the OECD Nuclear Energy Agency (NEA) organised in February 1992 the workshop "Work Management in Occupational Dose Control". The workshop was directed towards practitioners working in,

or supervising, radiation protection in nuclear installations.

The meeting, which was chaired by Dr. A. Wrixon, NRPB, gathered about 50 experts on occupational exposure from 13 countries. The proceedings of the workshop including the papers presented and the conclusions and recommendations will be published by the NEA in the near future.

In this paper I have highlighted some of the main conclusions reached.

## FROM THEORY INTO PRACTICE

The major conclusion of the meeting was that from the evidence presented, ALARA has now moved from the theoretical to the practical level. Although there are differences in detail, the overall approaches adopted within the nuclear industry in the OECD area to the practical implementation of the ALARA principle are remarkably similar. In summary it requires firm management involvement and the use of appropriate dosimetric and other tools.

## IMPLEMENTATION BY MANAGEMENT

The management approach adopted towards radiation work can have a major influence on the degree of radiation exposure in the workplace. In a workplace, it is the managers at various levels who take decisions. In general, the more important the decision, the higher up in the management chain the decision is taken. ALARA is the most important principle in radiation protection and since any radiation exposure carries some degree of risk, it is not just a low-level management issue.

The first key issue is, therefore, that radiological protection and ALARA should be implemented by management; it is their responsibility to organise and control the work to ensure that doses are ALARA. It is also their responsibility to formulate policies for the implementation of ALARA.

"The involvement of top management was a very important measure to improve the attitude and awareness for effective radiation protection of all personnel. Radiation protection goals were set up

and all the personnel was informed about the importance management attaches to the achievement of these goals" (Blaser, Jeschki—Switzerland).

## COMMITMENT AT ALL LEVELS

Policy is, however, not enough. Continuous management support is needed, not only in terms of technical and financial support, but also in terms of moral support: a support that has to penetrate and be made known at all levels in the organisation. A key to successfully pursuing ALARA is, therefore, commitment—a commitment that has to exist at all levels of management, not just at the top level.

In the overview paper, the authors (Coates—United Kingdom, Lefaure and Schieber—France) suggested a checklist to test the level of commitment, or the ALARA profile, the management gives to dose control and ALARA. Such a checklist would include questions such as:

Is ALARA on the agenda of senior executives? Are plant managers prepared to consider ALARA issues? Is the organisation prepared to make the necessary technical and financial inputs and to make appropriate use of systematic ALARA procedures and tools? Are there proper arrangements for ensuring the effective application of ALARA procedures and tools?

## ORGANISATIONAL STRUCTURE

A key element in the management's contribution to ALARA is having an organisational structure capable of ensuring that ALARA is implemented. Two approaches seem to exist in OECD countries. One approach is where ALARA is an integral part of the radiation protection programme, thus the existing management structures are sufficient, and the other is where specific structures are created to provide an effective focus for pursuing ALARA.

The means which an organisation chooses to set up its work is an internal decision of the organisation and will depend on a number of factors, among which is the internal and external culture that exists for radiation protection and dose reduction.

## ACTIONS AND STRATEGY

Commitment demands active actions and needs a strategy. The meeting identified various parts of such a strategy, the more important ones being:

### A Structured Approach

The management of operations and projects involving radiation, has to follow a structured approach. The steam generator replacement projects in Ringhals and Dampierre are two examples of such an approach, and show clearly the achievements that can be reached with good planning and co-ordination. They also show the importance of including radiation protection considerations already in the planning stage of large projects. Good planning should not only contribute to keeping doses ALARA, but also reduce the amount of rework. It was estimated that as much as 10 per cent of the collective dose at a plant can be the result of rework; the main causes of which could be lack of communication and bad planning (A. Khan — Canada).

### Training Programmes

Training programmes obviously have a role to play in facilitating efforts towards dose reduction. General training should create the climate for ALARA, but this is not enough. Several papers showed that specific training efforts have had significant effects in terms of reduction in the time involved in maintenance activities and thus the exposure of the personnel. It also seems to be the experience that specific training not only needs to include the equipment to be used in the actual operation, but also the people who will be responsible for the protection. This will give them the opportunity to advise on preferable positions and to study the optimal use of protective actions.

### The Use of Appropriate Tools and Techniques.

Proper managerial control and thinking over the use of advanced tooling and robotics can lead to the saving of both dose and money. It was demonstrated that advanced technologies can be employed in several stages of a project: work planning, work performance and monitoring to reduce occupational doses. Robotics has gained acceptance as a viable and dependable option. However, some caution was expressed concerning the use of robots; people sometimes have too high expectations from them, it was said. Robotics is still an emerging technology and will continue to require support in terms of equipment development

and technology transfer. Moreover, robotics should not be looked upon as the ultimate solution to dose reduction, but should rather be viewed as an integral part of the overall considerations to achieve ALARA. The stations are not always suited for robots, and the maintenance they require is often overlooked when assessing their usefulness.

### MOTIVATION, AWARENESS AND ATTITUDE

The real key to success in ALARA is to secure the commitment of individuals at all levels within the organisation. The importance of motivation, awareness and involvement of the workers in the dose reduction process was repeatedly pointed out and illustrated by practical examples.

This is not unique to radiation protection; a worker who is given responsibilities and is involved in the various aspects of his job will be motivated to do a better job. The objective should be to have ALARA accepted by each individual as a "state of mind" rather than an add-on extra to be considered when everything else has been decided.

"When workers are involved in efforts of reducing occupational radiation dose, the results are more favorable. They get a sense of ownership and achievement while participating in a mission that successfully meets the dose reduction objectives. Their input to the dose reduction programme, compliance with procedures and cooperation are vital to any successful dose management system" (A. Khan—Canada).

An important feature of "ALARA thinking" is self criticism at all levels. Do I need to undertake this task? Is this the best way of doing it? Can I reduce time and thereby save dose and money? This is an attitude that goes with good working practice, in particular when radiation exposure is involved.

### HOW TO ACHIEVE COMMITMENT

A question that led to much discussion was how to achieve the commitment of management, and second, how the management achieves the commitment of its workforce. Bonus systems, dosimetric goals, external pressure, risk of rework, quantification of work management actions, shortage in labor force and performance indicators were mentioned as being important elements in attracting the attention of the management to radiation protection and ALARA programmes.

To effectively achieve the commitment of workers, each organisation should develop an ALARA motivation policy,

through its various means such as training, information, communication and incentives. To ensure success and facilitate worker contribution, the ALARA programme will also need visible encouragements such as suggestion schemes, transparent dosimetric systems and devices for "making radiation visible" (by displaying or clearly indicating dose rates at working places, for example).

It seems that the use of slogans, tags and messages for exposure reduction are becoming important for successful dose reduction in nuclear installations. Also, some participants reported that financial reward for good performance in radiation protection was a useful tool in occupational dose control. It might well be that such rewards, if properly designed, will become more and more common in the nuclear field. However, some concern was expressed towards an uncritical use of such compensation schemes in particular in relation to its potential influence on the safety of the installation.

It was pointed out, finally, that "external stimuli" (recommendations of ICRP, pressure from regulators, etc) are very effective in increasing awareness and thus contribute towards commitment to dose reduction from the management and the workforce.

"In each case, the external pressures were directed at those individual exposures at the upper end of the dose spectrum, and renewed efforts were put in place by both management and employees to reduce the number of such exposures" (Partington—United Kingdom).

### REGULATORY SUPPORT

With full management and worker commitment one will achieve a great deal, but what is the role of the regulator?

An active regulatory profile motivating and supporting ALARA efforts was seen by many to be desirable. At the same time, it was thought that the regulations should not be prescriptive. They should support, motivate and give guidance but not prescribe the ways and means to implement ALARA. Also, it was thought that a climate for achieving results could be created through an active and supportive inspection programme by the regulators.

"...the HP (Health Physics) performed a study on the radiological consequences of a steam generator replacement. This study was done because of questions from the Radiation Protection Institute. The Institute was concerned about the steam generator problems in Ringhals. This gave the HP a platform and credibility for the future work" (Hillbom—Sweden). →

## EMPLOYER'S COOPERATION

Not only involvement of workers, but also co-operation between employers was pointed out to be essential for successful dose control. The contractor must be included in the planning of the work in which he is going to be involved and the work practices used at the plant to keep doses low must be made transparent to him.

## NEW DESIGN FEATURES

Several papers showed the effect of new designs and architectural arrangements on the radiation doses. It was pointed out that a substantial amount of dose reduction can be achieved by taking into account ergonomics at the design stage. Improved accessibility, clear separation of active and non-active systems and last but not least, the introduction of measures to better manage dose rates at workplaces, are all important factors behind the significantly reduced radiation exposure of personnel in some new reactor designs. Some of the new reactors are being operated with a collective dose of less than 10 per cent of the average for the reactor community, (Pfeffer, Bentele—Germany, Kohmoto—Japan). Therefore, the feedback of experience from operation into the design stage was seen as extremely important.

## DOSE MANAGEMENT AND PAST EXPERIENCE ANALYSIS

Data bases for radiation exposure management have been and are being developed to facilitate the handling of individual and task related dose information and for the dissemination of operating experience. In a general sense, such systems can be envisaged to be used on three levels:

### At plant level.

Operational dosimetry systems for monitoring and analysis of specific operations are being used more and more. One such system which includes features for dosimetry reporting, access control, management of radiation work permits, radiation exposure tracking and ALARA planning has been developed by a United States utility (Mr. Miller — United States). In addition to facilitating and improving radiation protection, the system saves a great amount of money each year through more efficient dose management.

### At national or regional level.

National dose registers already exist in several countries and are of particular importance for managing doses to individuals going from plant to plant and even from country to country. In the United States the INDEX System was

mentioned and in Europe, the Commission of the European Community (CEC) has started to set up a dose register of individual doses to itinerant workers.

### At international level.

One of the conditions for achieving an effective ALARA programme is the availability of a broad data base on exposure data and dose reduction techniques. To help in this process at the United States level, the Brookhaven National Laboratory started a number of years ago to collect information on methods of controlling occupational exposure. The experience acquired from this seems extremely positive and a variety of methods are being used to disseminate this information as widely as possible. At the European level the CEC started 10 years ago to collect information on job-related doses in light water reactors. The NEA recently set up the ISOE System to assist operators in the optimisation, or ALARA process by making available global dose data and task related information as well as information on dose reduction techniques. The ISOE, to which CEC and the IAEA are associated, became effective 1 January 1992 and includes participants from all OECD Member countries with nuclear power programmes. Technical Centres in the United States, France and Japan are responsible for the technical operation of the ISOE under the supervision of the NEA Secretariat in Paris.

## RECOMMENDATIONS

As mentioned above the OECD will publish the proceedings of the meeting; the proceedings will, however, not be the only product from the workshop. In its meeting in June 1992, the NEA Committee on Radiation Protection and Public Health agreed to continue work in this area and in particular the Committee supported the recommendation by the workshop to study in more detail ways to facilitate management commitment to occupational dose reduction. The newly established ISOE system will be one excellent source of expertise and data to support such a study.

C. Viktorsson is a Nuclear Health Physicist. He graduated in Finland in 1975. He was research physicist for a few years, health physicist supervising inspection activities in nuclear power plants in Sweden, and later, radiation protection officer at Swedish Institute Radiation Protection. Since 1987 he has been administrator in the Radiation Protection and Waste Management Division of the OECD Nuclear Energy Agency in Paris, France.

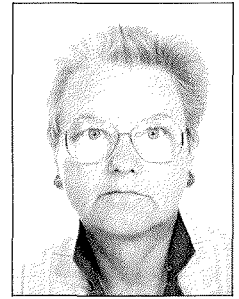
***Kansainvälisen säteilysuojelukomitean (ICRP) vuonna 1990 hyväksymät uudet pääsuositukset julkaistiin v. 1991. Tämä teki välttämättömäksi ryhtyä toisaalta uusimaan eräitä aikaisempia sekundaarisia suosituksia ja toisaalta oli tarvetta kehittää yksityiskohtia pääsuosituksissa esitettyjen uusien asioiden soveltamisesta.***

***Pääsuosituksissa esitetyt uudet annosrajat tekivät välttämättömäksi pikaisesti uusia ICRP 30:ssä julkaistut radionuklidien saantirajat työntekijöille (ALI). Uusien laskelmien perusteina ovat uudet annosrajat (stokastisten vaikutusten perusteella) ja uudet säteily- ja kudospainotuskertoimet mutta metabolistet ja biokineettiset tiedot on otettu vanhoista raporteista ICRP 30 ja 48. Tämä siksi, että uudet ALI:t saatiin nopeasti väliaikaiseen käyttöön. Väliaikaiset ALI:t on julkaistu ICRP 61:ssä.***

ICRP 30:n täydellinen uusiminen vaatii uutta tietoa useilta työryhmiltä, jotka parhaillaan työskentelevät. Työryhmät selvittävät mm. hengityselinmalleja säteily-suojelutarkoitukseseen, viitehenkilön parametreja ja annoslaskumalleja sekä biokineettisiä malleja, joilla kuvataan radionuklidien metaboliaa ja erittymistä.

Kaksi muuta uutta raporttia on myöskin valmiina, nimittäin raportti ihoannoksen rajoittamisen biologisista perusteista (ICRP 59) ja raportti radionuklidien saannin aiheuttamista ikäriippuvista annoksista väestölle (osa 2 ICRP 56). Edellinen raportti käsittelee sitä mitkä solut ovat eniten vaarassa ja missä ne sijaitsevat, syövän ja determinististen vaikutusten annos-vaste-suhteita ja dosimetrisiä näkökohtia tapauksissa, joissa säteilyaltistus on erittäin paikallinen (kuumat hiukkaset).

# ICRP:n VUODEN 1990 SUOSITUSTEN JÄLKEEN



Jälkimmäinen raportti sisältää yksikkösaantia kohti annoksen rikin, kobolttin, nikkelin, sinkin, molybdenin, teknetiumin, hopean, telluurin ja poloniumin isotoopeille. Laskuissa on käytetty uusia kudospainotuskertoimia ja arvot koskevat nielemällä saatuja radionuklideja. Hengittämällä saatujen radionuklidien annokset eivät sisälly raporttiin, ne julkaistaan myöhemmin uusittaessa osa I ICRP 56:sta. Tämä voidaan tehdä vasta kun hengityselinmalli on valmis.

Hengityselinmalleja koskevan työn suhteen on kohdattu vaikeuksia, vaikka dosimetrin mallin tekninen kehittyminen on edistynyt hyvin. Erityisesti on kaivattu lisäselvitystä siitä mitkä solut ja mikä määrä soluja on riskin kannalta ratkaistava ja mikä olisi oikea kudospainotuskertoimen keuhkoille sekä painotustekijän osoittaminen keuhkojen eri osille. On myös löydettävä selitys sille miksi dosimetrin malli antaa yksikköannosta kohti korkeamman riskin radonkaasun tyttärille kuin mitä on suoraan epidemiologisesti havaittu uraanikaivostyöntekijöillä.

## ICRP:n KOMITEOIDEN VALMISTELUTYÖ

ICRP:ssä on myös useita muita työryhmiä eri komiteoiden alaisuudessa. Osa tästä työstä käsittää erilaisia biologisia ja dosimetrisiä taustaselvityksiä ja on siksi vähemmän tunnettua kuin se työ joka johtaa valmiisiin suosituksiin.

ICRP:n 1. komitean Biologia piirissä on vastikään saatu päätökseen yhteenveto syöpärisien epidemiologisista näytöistä, jotka perustuvat pääasiassa Hiroshima-Nagasaki-seurantatutkimuksiin. Tätä työtä täydennetään parhaillaan muiden epidemiologisten tutkimusten tuloksilla. Eri-tyinen työryhmä seuraa entisen Neuvostoliiton alueella tapahtuvia tutkimuksia. Toinen työryhmä puolestaan pohtii onko riskimallien siirtäminen populaatiosta toiseen oikeutettua. Edelleen tarkastelun kohteena ovat säteilyn vaikutus kehittyvään keskushermostoon, sikiön herkkyyden syöväälle, perinnölliset vaikutukset jne..

ICRP:n 2. komitean Dosimetric piirissä jatkuu työ ikäriippuvasta dosimetriasta, käsittäen mm. sikiöannokset. Tavoitteena on ICRP 30:n kokonaisuudistus. Yhteistyössä ICRU:n kanssa selvennetään periaatteellisia eroja suojelusuureiden ja kenttäsuureiden välillä sekä annetaan muuntokertoimia näiden välille.

ICRP:n 3. komitea Lääketieteellinen säteilynkäyttö työryhmineen valmistelee suosituksia optimoinnin käytöstä potilas-suojelussa diagnostisen radiologian alalla ja säteilynsuojelun toteuttamisesta biolääketieteessä kun altistetaan terveitä vapaaehtoisia henkilöitä tai potilaita. Myöskin selvitetään potilaiden potentiaalisia altistuksia mekaanisten vikojen ja inhimillisten erehdysten seurauksina.

ICRP:n 4. komitea Suositusten soveltaminen on työryhmineen valmistellut kolme suositusehdotusta, jotka kukin pyrkivät antamaan ICRP:n pääsuositusten soveltamisohjeita omalla alallaan. Ehdotukset käsittelevät potentiaalisia altistuksia, interventiota onnettomuustilanteissa ja radonaltistusta (ei kaivoksissa). Pääkomissio tulee käsittelemään ehdotukset kokouksessaan marraskuussa-92, joten vielä ei ole tiedossa tullaanko niitä hyväksymään.

## POTENTIAALISET ALTISTUKSET

ICRP 60 otti käyttöön käsitteen potentiaalinen altistus kuvaamaan altistusta, jolloin annoksen saamisen todennäköisyys on pienempi kuin yksi. Komissio suosittelee oikeutusta ja optimointia sovellettaviksi myös potentiaaliin altistuksiin vastaavasti kuin praktiikasta todennäköisyydellä yksi saataviin annoksiin, mutta ei ehdota riskirajoja (risk limits) potentiaalisille altistuksille. Se esittää kuitenkin että praktiikka-kohtaisesti asetettaisiin tapahtumaketjuille riskirajoituksia (risk constraints) antamatta tarkempia ohjeita siitä miten.

Jatkotyössä 4. komitean piirissä on lähdetty siitä, että mistä tahansa praktiikasta voi aiheutua potentiaalinen altistus ja seuraukset voivat olla hyvinkin moninaisia. Täten periaatteet kattavat hyvinkin erilaisia tilanteita alkaen jonkin yksinkertaisen turvalaitteen mekaanisesta pettämisestä esim. teollisuusradiografiassa ja päättyen vikoihin ydinlaitoksen monimutkaisissa turvajärjestelmissä. Tällöin eroavat niin lähdeterminit kuin seurauksetkin ääritapauksissa kertaluokkia toisistaan. Myöskin seurausten aikaperspektiivissä voi olla suuria eroja esim. ydinjätteen loppusijoitustilojen osalta vaikutukset voivat esiintyä vasta tuhansien vuosien kuluttua. Keskeistä ehdotuksessa on toisaalta se että se rakentaa siltaa säteilynsuojelun ja ydinturvallisuuden välille ja toisaalta se kattaa eksplisiittisesti sellaisen säteilylähteitten turvallisuusperiaatteet, jotka jäävät ydinturvallisuuden ulkopuolelle kuten sairaaloiden ja teollisuuden säteilylähteet.

## Deterministinen vai todennäköisyys-pohjainen

Ehdotus ei missään tapauksessa pyri käsittelemään ydinlaitosten turvallisuusaspekteja kokonaisuudessaan; vaan mielummin se pyrkii osoittamaan, miten perusturvallisuusperiaatteita sovelletaan yleensä potentiaaliin altistuksiin. Ehdotus hyväksyy sen, että deterministinen ja todennäköisyyspohjainen turvallisuusfilosofia ovat toisiaan täydentäviä ei poissulkevia lähestymistapoja. Usein varmistetaan turvallisuus ensin deterministisin menetelmin ja niihin kuuluvien turvallisuusmarginaalein käyttäen sellaisia tunnettuja skenaarioita, jotka johtavat potentiaaliin altistuksiin. Tämän jälkeen todennäköisyyspohjaisia menetelmiä käyttäen identifioidaan turvajärjestelmien heikkouksia, jotka ehkä ovat jääneet huomaamatta deterministisessä analyysissä.

Sovellettaessa ICRP:n kolmea pääperiaatetta, oikeutusta, optimointia ja yksilön-suojaa (jotka kaikki ovat yhtä aikaa voimassa) praktiikkaan potentiaalisten altistusten osalta on huomattava, että praktiikan oikeutusta arvioitaessa vaikuttaa siihen moni muu tekijä kuin säteilyvaikutukset. Praktiikka voi olla hyväksyttävä, jopa silloin kun siitä voi aiheutua huomattava potentiaalinen altistus, edellyttäen että siitä saadaan hyvin merkittävä hyöty. Tämä merkitsee sitä, että hyvin alhaisen todennäköisyyden omaavat tapahtumat hyväksytään luonnostaan.

Optimoitaessa jonkin praktiikan turvallisuutta joudutaan yhdistämään useita tekijöitä, jotta voidaan verrata eri turvallisuusvaihtoehtoja optimin löytämiseksi. Tällöin jotkin tapahtumaketjut eivät ehkä vaikuta paljoakaan kokonaisriskiin, jonka praktiikka aiheuttaa. Tapahtumaketjuilla voi olla: suuri todennäköisyys ja vähäiset seuraukset, tai pieni todennäköisyys, mutta huomattavat seuraukset. Kummassakaan tapauksessa ei todennäköisyyksien edelleen pienentäminen kannata, koska koko tapahtumaketjun vaikutus kokonaisriskiin on mitätön.

## Hyväksyttävä riski

Yksilön riskin kannalta praktiikka on hyväksyttävä, jos sen aiheuttama riski yksilölle on riittävän pieni. Mikä sitten on riittävän pieni? Vallitsee verraten suuri yksimielisyys siitä, että jos riski kuolla ennen aikaisesti on pienempi kuin  $10^{-7}$  vuodessa, se on niin pieni ettei yksilö ole siitä huolestunut.

4. komitea totesi eri praktiikkojen tapahtumaketjujen todennäköisyyksille asetettavien rajoitusten (constraints on probabilities) yleistämisen olevan vaikeata. Ehdotus sisältää kuitenkin seuraavat vaihteluvälit sellaisten tapahtumaketjujen vuosittaisille todennäköisyyksille, joilla on vaikutuksia väestölle. Tältä vaihteluväliltä voidaan sitten valita rajoitus tietyille tapahtumaketjuille ko. laitoksessa.

a) tapahtumat, joista saatava annos alittaa annosrajat ja joita käsitellään osana normaali-altistusta —  $10^{-1}$  —  $10^{-2}$

b) tapahtumat, joista saatava annos ylittää annosrajat mutta jää stokastiselle alueelle —  $10^{-2}$  —  $10^{-5}$

c) tapahtumat, joista jotkin säteilyvaikutukset ovat deterministisiä mutta eivät kuolemaan johtavia —  $10^{-5}$  —  $10^{-6}$

d) tapahtumat, joista seuraa ennenaikainen kuolema alle  $10^{-6}$

#### Arvioiden rajat

Todettakoon vielä, että hyvin pienten altistusten sulkeminen turvallisuustarkastelujen ulkopuolelle on aiheuttanut paljon keskustelua, mutta 4. komitea on todennut ettei niiden yleiselle poisjättämiselle ole perustetta, joka olisi analoginen normaalikäytön aiheuttaman altistuksen poikkeussäännöille (exemption rules). Skenarioita tai tapahtumaketjuja voidaan sen sijaan jättää tarkastelun ulkopuolelle silloin jos niiden merkitys on vähäinen,

- 1) praktiikan hyväksyttävyyden suhteen oikeutusperiaatteen pohjalta arvioituna
- 2) turvallisuusvaihtoehdon suhteen optimointiperiaatteen pohjalta arvioituna
- 3) yksilöriskin hyväksyttävyyden suhteen arvioituna yksilönsuojaperiaatteen pohjalta.

Koska toimenpidetasojen tulee olla joustavia ehdotetaan että kansainväliset suositukset numerollisista toimenpidetasoista annetaan ”yleisluontoisesti oikeutettuina toimenpidetasoina” (generically justified intervention level) mikä merkitsee sitä että sen suuruisen annoksen välttäminen on miltei aina oikeutettua.

Ehdotus antaa eri toimenpiteille ”yleisluontoisesti oikeutettujen toimenpidetasojen” numeroarvot ja esittää miten ”yleisluontoisesti optimoidut toimenpidetasot” (generically optimized intervention level) voidaan johtaa. Jälkimmäisiä ovat muut kansainväliset järjestöt kuten IAEA ja EC laatimassa.

Ehdotetut ”yleisluontoisesti oikeutetut toimenpidetasot” ovat seuraavat: evakuointi - useita satoja mSv; estetään vakavat deterministiset vaikutukset, sisälle suojautuminen - useita kymmeniä mSv; ruoka-aineiden käytön rajoitukset - 10 mSv/ruoka-aine pysyvä; väestönsiirto (relocation) - 1 Sv.

”Yleisluontoisesti optimoitujen” arvojen arvioidaan olevan n. kymmenes osa yllämainituista arvoista, paitsi pysyvälle väestön siirrolle n. 10 mSv kuukaudessa pitkäaikaisessa altistuksessa.

#### RADON

Radonsuositusehdotuksessa kehitellään edelleen komission interventio-suositusta

asuntojen radonongelmaan sovellettuna. Asuntojen osalta interventioperiaatteen soveltaminen vastaavalla tavalla kuin edellä onnettomuustilanteessa on periaatteessa selkeää oikeutus- ja optimointiperiaatteiden pohjalta. Praktiikoille sovellettavat annosrajat eivät päde asuntojen radonille.

Kuten edellä on selostettu hengityselin-mallityössä on kohdattu vaikeuksia sovellettaessa sitä radonaltistukseen. Tästä syystä on radonehdotuksessa asiaa lähestytty käyttämällä pohjana uraanikaivostyöntekijöiden epidemiologisten tietojen perusteella saatua riskiarviota per WLM (altistus ilmaistuna working level month:na) ja muunnettu WLM:na ilmaistut altistukset radonkaasukonsentraatioiksi Bq/kuutiometrissä, ottaen huomioon erilaiset altistusajat asunnoissa ja työpaikoilla. Tällöin on päädytty viitepopulaatiolle toimenpide-tasoon 400 Bq/kuutiometri. Toimenpidetaso muuttuu vastaavasti mikäli populaation peruskeuhkosyöpärisi vuodessa pokkeaa viitepopulaatiosta.

#### Radon työpaikoilla

Periaatteellisesti hankalamman tilanteen muodostavat asuntoihin verrattavat työpaikat, siis muut kuin kaivokset, louhintatyömaat ja radioaktiivisia luonnonmateriaaleja käsittelevät teollisuuslaitokset, joissa on radonongelma. Tällöin joudutaan ratkaisemaan milloin työntekijöitä tulee käsitellä säteilytyöntekijöinä monitorointi-, annoskirjanpito- ja lääkarintarkastusvaatimuksineen. Komissio jätti ICRP 60:ssä asian kansallisten viranomaisten ratkaistavaksi, siten että jos viranomainen päättää, että työpaikassa on radonongelma, työntekijät ovat säteilytyöntekijöitä.

#### INTERVENTIO

ICRP 60:ssä esitetyt periaatteet interventiolle onnettomuustilanteissa ovat lyhyesti seuraavat: vastatoimenpiteellä tulee välttää säteilyannosta siinä määrin, että saadaan aikaan enemmän hyvää kuin haittaa (oikeutus), vastatoimenpide tulee toteuttaa siten että saadaan aikaan maksimi määrä hyvää (optimointi) sekä mikäli ollaan vaarassa ylittää 0,5 Sv annos lyhyenä aikana on vastatoimenpide miltei aina oikeutettu determinististen vaikutusten välttämiseksi.

Viimeksi mainittu kohta edustaa minimi yksilönsuojaa, mutta oikeutus- ja optimointiperiaatteiden soveltaminen johtavat yleensä huomattavast parempaan yksilönsuojaan. Tämä merkitsee käytännössä sitä että toimenpiteen vaikeudesta riippuen toimenpide toteutetaan mikäli annosta voidaan välttää muutamasta kymmenestä muutama sataan mSv:iin.

Toimenpiteellä vältetty annos on näiden suositusten keskeinen suure.

Oikeutus- ja optimointiperiaatteita sovellettaessa on käytettävissä useita tekniikoita, joilla tarkasteluja voidaan systematisoida ja tulosten perusteet saada transparentiksi, mitä seikkaa pidetään hyvin tärkeänä. Lopullisiin toimenpidepäätöksiin vaikuttavat sekä terveydelliset tekijät että taloudelliset, sosiaaliset, psykologiset ja poliittiset tekijät, jotka päätöksenteki-

jä joutuu tasapainottamaan. Näinollen yksinkertainen hinta hyöty- analyysi ei ole riittävä vaan tarvitaan kehittyneempiä päätösanalyysin muotoja avuksi. Tällainen analyysi joutuu käsittelemään sekä kvantitatiivista että kvalitatiivista tietoa. Ehdotus antaa esimerkkejä analyysien suorittamisesta.

#### Ehdotuksen sanoma

Eräs ehdotuksen tärkeimmistä sanomista on se että maiden tulee itse suorittaa valmiussuunnittelun yhteydessä tällaisia analyysejä omia olosuhteitaan silmälläpitäen. Itse onnettomuustilanteessa ei ole aikaa monimutkaisiin analyyseihin.

Oikeutusperiaate johtaa vältettyjen annosten joukkoon, jossa vallitsee positiivinen nettohyöty. Tämän joukon sisällä optimointi johtaa toimenpidetasoon, joka vastaa maksimaalista nettohyötyä.

Oikeutus- ja optimointiperiaatteiden pohjalta johdetut toimenpidetasot eivät ole annosrajoja eikä niitä tule sellaisina käsitellä. Ne ilmaistaan primäärisesti vältettynä annoksena vaikkakin valmiussuunnitelmassa ne tulee ilmoittaa mitattavina tai helposti laskettavina suureina, joiden ylittäminen käynnistää toimenpiteen. Valmiussuunnitelmassa toimenpiteisiin ryhtyminen voidaan eräiden toimenpiteiden osalta ilmaista myös laitoksen tilaan viittein ilmaisuin eikä säteilytietoihin perustuen. Kuitenkin mitä etämmällä ajallisesti ja paikallisesti onnettomuudesta ollaan, sitä selkeämmin pitää mitatut säteilyarvot ottaa huomioon toimenpidepäätöksiä tehtäessä.

Ehdotuksessa pidetään yksinkertaisuuden vuoksi sopivana asettaa sama toimenpide-taso 400 Bq/kuutiometri tällaisille työpaikoille ja työntekijät ovat säteilytyöntekijöitä vain jos altistusta työssä ei saada alle tämän toimenpidetason.

Radonaltistuksesta suositellaan pidettävän kirjaa erikseen tulevia analyysejä silmälläpitäen. Koska radonista saatavaa annosta kuitenkin tarvitaan, jotta voidaan tarkistaa alittaako se annosrajan työntekijöillä, ehdotetaan sopimusluontoista muuntokeruuta siten, että 400 Bq/kuutiometri vastaa n. 7 mSv/v. Tämän sopimuskertoimen arvo on riippumaton dosimetriasta ja keuhkomalleista, perustuen yksikköaltistusta radonille vastaavaan riskiin ja ICRP 60:ssä annettuun efektiivisistä annosta vastaavaan riskiin.

Kolmen viimeksi selostetun suositusluonnoksen kohtalo ratkeaa ICRP:n pääkomission kokouksessa marraskuussa-92. Mikäli komissio ei niitä hyväksy voi niiden ilmestyminen lykkääntyä paljonkin koska tämä on komission tämän kauden viimeinen kokous. Uusi komissio joutuisi järjestämään niiden jatkokäsittelyn uuden kokoonpanon omaavien komiteoitensa kanssa.

FL Anneli Salo eläkkeellä säteilyturvakeskuksen osastopäällikön virasta, ICRP:n 4. komitean jäsen v 1985 lähtien.





# LUONNONSÄTEILYN VIRANOMAISVALVONTA

*Säteilylain uusia soveltamis-kohteita ovat sellaiset toiminnot, joista aiheutuu merkittävää altistumista luonnonsäteilylle. Näille toiminnoille asetettu turvallisuustaso määritellään ST-ohjeissa. Vastuu toiminnan säteilyturvallisuudesta kuuluu toiminnan harjoittajalle. Jos todetaan tai epäillään merkittävää altistumista luonnonsäteilylle, on asia selvitettävä mittauksin tai muulla tavoin. Valvonnan merkittävänä osana on säteilytiedouden levittäminen ja ylläpito eri kohderyhmissä.*

Säteilylaki uudistui Vuoden 1992 alusta tulivat voimaan uusi säteilylaki (592/91) ja säteilyasetus (1512/91). Säteilylain tarkoituksena on estää säteilystä aiheutuvia terveydellisiä ja muita haittavaikutuksia. Keskeisiä uusia lain soveltamiskohteita ovat sellaiset toiminnot, joista aiheutuu merkittävää altistumista luonnonsäteilylle. Säteilyasetuksessa on asetettu säteilyaltistuksen enimmäisarvot.

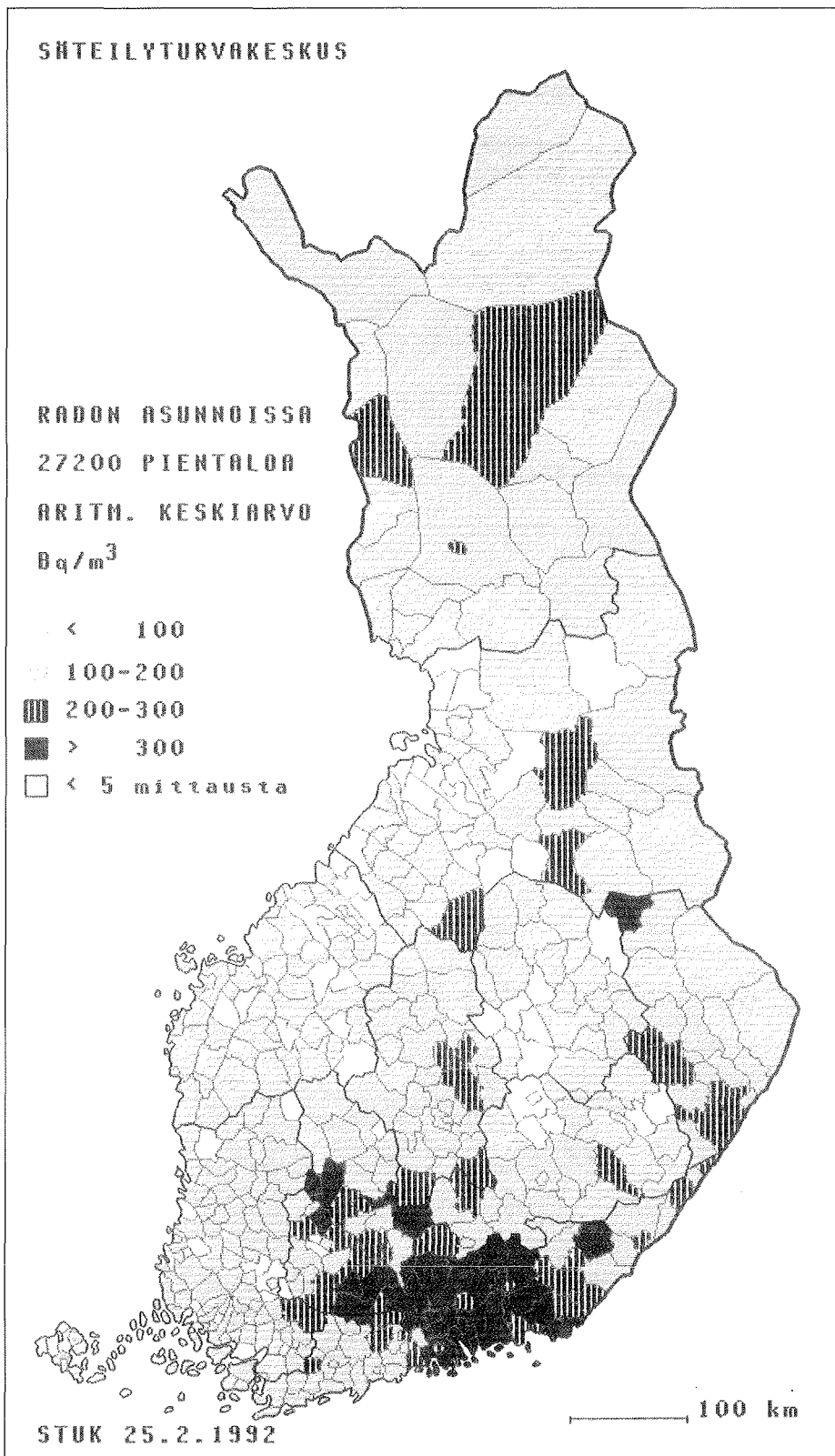
Säteilylain perusteella voi säteilyturvakeskus antaa säteilyn käytön ja muun säteilytoiminnan turvallisuutta koskevia ohjeita, ST-ohjeita, joissa annetaan tarkemmat ohjeet enimmäisarvojen soveltamisesta.

Säteilylaissa tarkoitettu "toiminnan harjoittaja" on jokainen, jonka toiminnan johdosta ihminen voi altistua terveydellistä haittaa aiheuttavassa määrin säteilylle. Toiminnan harjoittajia ovat mm. kaivos- tai maanalaisen louhintatyön harjoittajat sekä muut työnantajat ja näihin verrattavat, joiden työtiloissa hengitysilman radonpitoisuus on suuri.

## Mitä on luonnonsäteily

Luonnonsäteilyllä tarkoitetaan ionisoivaa säteilyä, joka on peräisin avaruudesta tai sellaisista luonnon radioaktiivisista aineista, joita ei käytetä säteilylähteinä. Tässä yhteydessä merkittävimmät ihmisen säteilyaltistuksen aiheuttajat ovat eräät uraani- ja toriumsarjojen (238U, 232Th) radionuklidit sekä kalium (40K).

Ihminen on kaikkialla alttiina luonnonsäteilylle: kodissaan, työpaikallaan, muussa rakennetussa ympäristössä sekä ulkona luonnossa.



Asuntoympäristössä tehdyissä mittauksissa on todettu suuria radonpitoisuuksia esiintyvän erityisesti Uudenmaan, Hämeen ja Kymen lääneissä. →

Kallio- ja maaperässä, rakennusmateriaaleissa tai muussa ympäristössä olevista radionuklideista ja avaruudesta tulevasta säteilystä aiheutuu ulkoista säteilyaltistusta. Sisäistä säteilyaltistusta aiheuttavat kehoon ruuan, juoman tai hengityksen kautta joutuneet radionuklidit. Tavanomaisissa olosuhteissa merkittävien sisäisen säteilyaltistuksen aiheuttaja on hengitysilmassa oleva radon ( $^{222}\text{Rn}$ ).

Toimintaa jossa aiheutuu tai voi aiheutua merkittävää altistumista luonnonsäteilylle, on

- työskentely kaivoksissa, louhintatyömailla ja maanalaisissa tiloissa, joiden ilmassa on huomattava määrä radonia,
- työskentely muissa tiloissa, joiden ilmassa on huomattava määrä radonia,
- merkittäviä määriä luonnon radionuklideja sisältävien materiaalien käsittely tai varastointi ja
- säännöllinen työskentely lentokoneissa lentoreiteillä, joissa avaruussäteilystä aiheutuva säteilyaltistus saattaa olla suuri.

#### **Luonnonsäteilyn valvontaan liittyvät ST-ohjeet**

Säteilytoiminnalta edellytetty turvallisuustaso määritellään säteilyturvakeskuksen julkaisemissa ST-ohjeissa. ST-ohjeissa annetaan mm. kaivosten ja louhintatyömaiden sekä muiden työpaikkojen hengitysilmän radonpitoisuudelle enimmäisarvot, joiden ylityksessä tulee käynnistää pitoisuuden alentamistoimenpiteet.

Muut luonnonsäteilyyn liittyvät, valmis-teilla olevat ohjeet käsittelevät rakennusmateriaalien ja polttoturpeen sekä talousveden radioaktiivisuutta. Polttoturpeen ja osin rakennusmateriaalien osalta ohjeissa on otettu huomioon myös laskeumasta peräisin oleva cesium ( $^{137}\text{Cs}$ ).

Enimmäisarvot asuntojen huoneilman radonille vahvistaa sosiaali- ja terveysministeriö.

#### **Turvallisuustavoitteet**

Säteilyasetuksessa työntekijän annokselle on säädetty enimmäisarvo 20 mSv vuodessa. Annoksen ollessa suurempi kuin 5 mSv, työmääritellään säteilytyöksi, jota koskevat säteilyasetuksessa mainitut annos seuranta ja terveystarkkailu.

ST-ohjeiden mukaan säännöllisessä työssä 5 mSv:n säteilyannosta vastaa työpaikan radonpitoisuus  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Työpaikoilla tulee kaikin tavoin pyrkiä siihen, että työpaikan radonpitoisuuden työnaikainen vuosikeskiarvo alittaa tämän pitoisuuden. Tavoitteena on, että vain erittäin harvoissa tapauksissa joudutaan työ määrittelemään säteilytyöksi. Tähän tavoitteeseen pyritään erityisesti tavanomaisilla työpaikoilla esim. toimistoissa, kouluissa, päiväkodeissa ja teollisuudessa.

Rakennusmateriaalien osalta on turvallisuustavoitteena, että talonrakennustuotantoon käytettävien rakennusmateriaalien gammasäteilystä aiheutuva annoksen lisäys ei saa ylittää 1 mSv vuodessa. Sama turvallisuustavoite on myös työntekijöille polttoturpeen tuotannossa ja turvetuhkan käsittelyssä.

Silloin kun materiaaleja käytetään katu- ja teiden ja vastaavien rakentamiseen, maisemointiin tai esim. turvetuhkan läjitykseen, materiaalien gammasäteilystä aiheutuva annoksen lisäys ei saisi ylittää 0,1 mSv vuodessa.

#### **Viranomaisvalvonta**

Lainsäädännössä luonnonsäteilylle altistavat toiminnot on jaettu kahteen ryhmään.

1. Säteilyasetuksessa todetut erityisen ilmoitusvelvollisuuden alaiset toiminnot:
  - kaivostoiminta
  - yli 2 kk kestävä maanalainen louhintatyö
  - erityisen uraani- tai toriumpitoisten luonnonvarojen hyödyntäminen
  - yli 100 tunnin vuotuinen työskentely sellaisissa maanalaisissa tiloissa, joissa ei ole järjestetty ilmanvaihtoa.

Näissä toiminnoissa toiminnan harjoittajan ilmoitus tuo toiminnot automaattisesti säteilyturvakeskuksen valvonnan alaiseksi.

2. Toiminnot joihin ei liity erityistä ilmoitusvelvollisuutta. Esim. radoniin liittyen tällaista toimintaa saattaa olla työskentely millä tahansa työpaikalla.

Näissä tapauksissa valvonta perustuu säteilylain 45 §:ään, jonka mukaan käytetäessä luonnosta peräisin olevia materiaaleja elinkeinotoiminnassa tai siihen rinnastettavassa toiminnassa, on velvollisuus selvittää toiminnasta aiheutuva säteilyaltistus, jos ilmenee tai perustellusti epäillään, että toiminnasta aiheutuva säteilyaltistus aiheuttaa tai saattaa aiheuttaa ihmiselle terveydellistä haittaa.

Sama velvollisuus on työnantajalla, jonka työtiloissa tai muussa työskentelypaikassa todetaan tai perustellusti epäillään, että luonnonsäteilystä kohdistuu ihmiseen säteilyaltistusta, joka aiheuttaa tai saattaa aiheuttaa terveydellistä haittaa.

Vastuu toiminnan turvallisuudesta on toiminnan harjoittajalla, samoin velvollisuus selvittää altistusolosuhteet jos "todetaan", "ilmenee" tai "perustellusti epäillään" tavanomaista suurempaa säteilyaltistusta.

Säteilyturvakeskuksella on oikeus määrätä tehtäväksi selvitys, jos sillä on tiedossaan toimintaa tai työpaikkaa koskeva tieto tai perusteltu epäily, eikä toiminnan harjoittaja toteuta selvittämismääräyksiään.

Esimerkkinä säteilyturvakeskuksen perustellusta epäilystä ovat esimerkiksi työpaikat niissä kunnissa, joissa suuressa määrässä asuntoja on todettu suurilla radonpitoisuuksilla. Tällöin voidaan arvioida, että myös työpaikoilla esiintyy vastaavassa suhteessa korkeita radonpitoisuuksia.

Rakennusmateriaaleista ei selvitetä maa- ja kallioperästä peräisin olevien rakennusmateriaalien tai niiden raaka-aineiden sisältämien radioaktiivisten nuklidien pitoisuuksia. Selvitys tehdään vain, jos perustellusti epäillään materiaalien tai niiden raaka-aineiden sisältävän korkeita radioaktiivisten nuklidien pitoisuuksia.

#### **Luonnonsäteilyn valvonnan aloitus**

Uuden säteilylain myötä muuttui suhtautuminen luonnonsäteilyyn. Kauan aikaa pidettiin luonnonsäteilyä taustasäteilyinä, jonka aiheuttamaan altistukseen ei voida vaikuttaa. Parin viimeisen vuosikymmenen aikana tehdyt havainnot ovat kuitenkin antaneet aiheen muuttaa suhtautumista luonnonsäteilyyn. Erityisesti radon on tullut voimakkaasti esille merkittävänä säteilyaltistuksen aiheuttajana sekä asuin-ympäristössä että työpaikoilla.

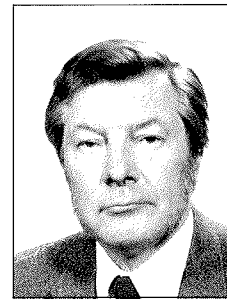
Säteilylain ja -asetuksen pohjalta on valmisteilla luonnonsäteilyyn liittyviä, sen eri osa-alueita koskevia ST-ohjeita. Pelkkä ohjeistus ei kuitenkaan riitä, vaan myös ohjeiden kohderyhmät on saatava tietoisiksi säteilyn haitoista ja niiden torjunnasta.

#### **Tiedotuksen tavoitteet**

Tiedottamisesta muodostuu jatkuva prosessi, jonka avulla säteilyyn liittyvää tietoutta pidetään yllä ja laajennetaan. Tavoitteena on, että pääosa mahdollisista säteilyyn liittyvistä ongelmista tiedostetaan työpaikoilla ja yritysissä ja että sitten "toteamiset" tai "perustellut epäilyt" johtavat tapauskohtaisiin selvityksiin, joista osa sitten johtaa käytännön suojele- ja torjuntatoimenpiteisiin.

Valvonnan kannalta merkittävin luonnonsäteilyyn liittyvä ongelma on tavallisilla työpaikoilla esiintyvä radon, jonka selvittäminen on lähivuosien laajin työkenttä. Kaivoksiin ja louhintatyömaihin liittyvä valvonta hoidetaan asianomaisen ST-ohjeen mukaisesti. Rakennusmateriaaleihin ja talousvesiin liittyvät tehtävät hoidetaan sitä mukaa kun niitä ajan mukana ilmenee. Tarkoituksena on, että näissä jälkimmäisissä selvityksissä aloitteen tekijän on useimmissa tapauksissa toiminnan harjoittaja.

FM Martti Annanmäki on säteilyturvakeskuksen valvontapäällikkö, p. 7082435.



# Säteilyn aiheuttaman syövän synty molekyylitasolla

**Molekyylibiologia on nykytieteen megatrendi - EY:n jättimäisessä tutkimusohjelmassakin se on yksi voimakkaimmin painotetuista alueista. Tavalliselle ihmiselle molekyylibiologia ei kuitenkaan taida sanoa kovin paljon - mieleen tulevat ehkä ensimmäisinä jotkin geenisiirtoihin liittyvät kauhukuvat, ja mahdollisesti eettiset ongelmat. Miten sitten säteilyn aiheuttama syöpä ja molekyylibiologia liittyvät toisiinsa? Periaatteessa tietysti niin, että vain molekyylitasolla on mahdollista ymmärtää, miten energiakvantti voi käynnistää - tai sammuttaa - solun toimintakoneiston siten, että solusta kasvaa epäsosiaalinen kloonni. Kuvailen tässä lyhyesti yhden solukoneistoon syntyvän vian, jonka säteilykvantti - teoriassa, mutta ei käytännössä, jopa yksi ainoa - voi saada aikaan, ja joka ilmenee lähes kaikissa ihmisen syöpäkasvaimissa taudin etiologisesta aiheuttajasta jopa riippumatta. En siis pyri esittämään mitään yleiskatsausta solun koneistosta tai koneistoon säteilyn vaikutuksesta syntyviä vioista, vaan keskityn kuvaamaan vain yhtä, joskin luultavasti keskeisintä ja yleisintä, vikaa.**

Sanaa ”syöpä” käytetään kuvaamaan erilaisia patologisia tiloja, joissa solut lisääntyvät epänormaalisti, tunkeutuvat sairaalloisesti kasvaessaan ympäröiviin kudoksiin, ja lähettävät verenkierron kautta etäpesäkkeitä. Erilaisia syöpätyyppejä on satoja, ja lähes jokaisesta ihmiseläimistön kudoksesta tunnetaan ainakin yksi kasvaintyyppi. Pitkäaikainen toive syöpätutkimuksessa on kuitenkin ollut se, että yksi ja sama biokemiallinen mekanismi, joka säätelee solujen kasvua, olisi vaurioitunut monissa erilaisissa syövässä

kasvainten biologisista eroista huolimatta. Nyt on käynyt ilmeiseksi, että tällaisen toiveen toteuttaa geenin p53 toiminta, sillä tämän kasvurajoitegeenin epä-kuntoon meno näyttää olevan, suoraan tai epäsuorasti, osallisena valtaosassa ihmisen pahanlaatuisista kasvaimista.

Jokaisessa solussa on siis p53-niminen geeni (tietysti kaksi perittyä geeniä, toinen isältä ja toinen äidiltä). Nimessä p-kirjain viittaa geenin tuottamaan proteiiniin ja numero 53 on proteiinin koko kilodaltonneissa.

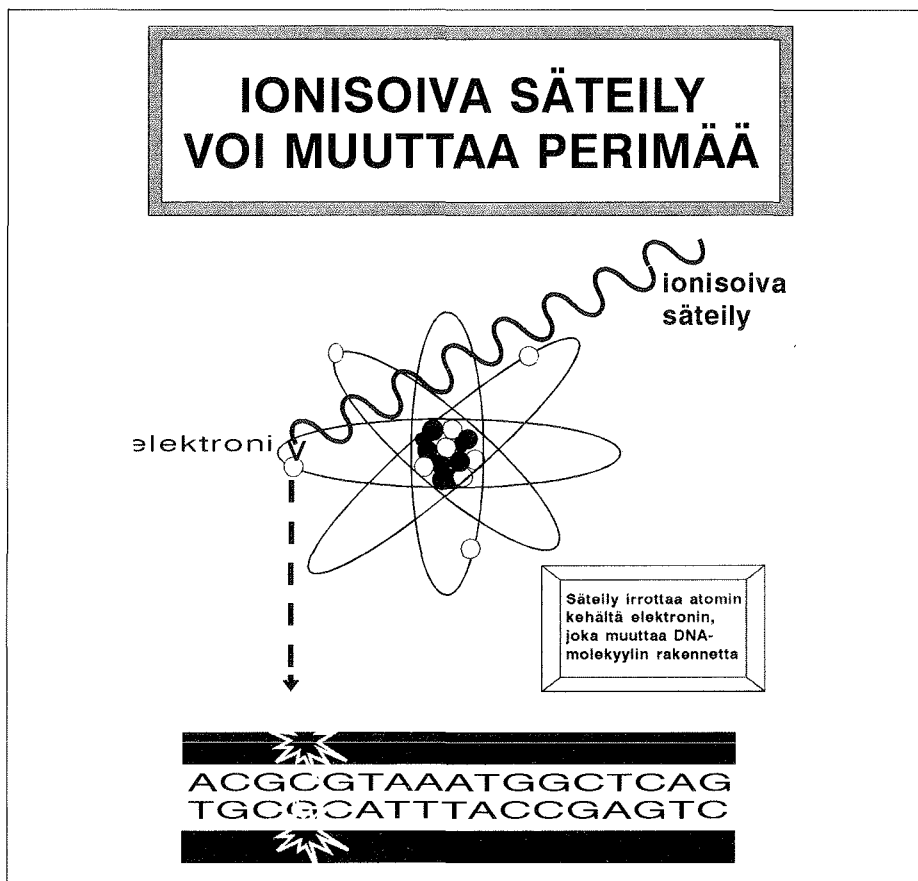
## Vauriomekanismi

Kasvurajoitegeeni p53 on normaalissa solussa perintöaineksen (perimän eli genomien) vartija/valvoja eli jonkinlainen ’molekyylipoliisi’. Jos ja kun solun toimintaa ohjaavassa perimässä (DNA-molekyylis-

sä) tapahtuu vaurio esim. ionisoivan säteilyn vaikutuksesta, p53-geeni tai sen jo aiemmin tuottama proteiini aktivoituu.

Proteiinin toiminta pysäyttää solun ’kasvun’, eli se estää solun etenemisen kohti mitoosia (solunjakautumista), kunnes DNA-vaurio on korjattu. Jos korjaus kuitenkin epäonnistuu, p53-geenin tuote käynnistää yleensä ohjelman, jonka avulla solu tekee itsemurhan.

Normaalissa terveessä solussa p53-geenin tuottama proteiini ei ole toimivassa muodossa, vaan se on sitoutuneena mdm2-nimisen geenin proteiiniin. Ihmisellä tunnetaan kaksi (harvinaista) perinnöllistä poikkeamaa, joissa p53-geeni ei toimi normaalilla tavalla: toisessa p53-geeni itse on synnynnäisesti vaurioitunut (Li-Fraumeni -syndrooma) ja toisessa mdm2-geeni on yliaktiivinen. Molemmissa poikkeamissa todennäköisyys sairastua syöpään



Fotoni irrottaa atomin kehältä elektronin (osumakohteena on yleensä vesimolekyylit, koska se on eläimistön yleisin aine). Sekundaarielektroni katkaisee solun perintöaineen DNA-molekyylissä toisen tai molemmat säikeet (todennäköisyys kaksoisosumaan on käytännössä olematon kohteen pienuuden takia: kohteen ”halkaisija” on n. 2 nm). p53-geenin tuote (ks. teksti) valvoo DNA-molekyylin kuntoa ja pysäyttää ’solukasvun’ korjauksen ajaksi.

on hyvin suuri, koska perimän laadunvalvontaa ('molekyyliipoliisin toiminta') on synnynnäisesti epäkunnossa elimistön kaikissa soluissa.

### "Häirikön" synty

p53-geenin tuottaman proteiinin rakenne, kuten kaikkien proteiinien rakenne, riippuu kyseisen geenin tietosisällön sanoista ja sanajärjestyksestä. Jos sanoissa tapahtuu jokin muutos (esim. jokin sana muuttuu toiseksi tai osa sanoista häviää geenin tietosisällöstä), geenin tuottaman proteiinin rakenne ja toiminta tietysti myös muuttuvat. p53:n tuottama proteiini on sillä tavalla erikoinen, että melkein mikä tahansa muutos geenin sisältämän rakennusohjeen noin 1300 kirjaimessa tekee proteiinista kykenemättömän 'molekyyliipoliisin' tehtävään. Muuttunut p53-proteiini tulee myös pitkäikäiseksi, sillä solu ei pysty hajoittamaan epänormaalia p53-proteiinia riittävän nopeasti. Pitkäikäistä "häirikkö"-proteiinia kertyy näin ollen soluun, ja proteiini alkaa todella toimia häirikkomaisesti. Proteiini ei pysty hoitamaan 'molekyyliipoliisin' tehtäväänsä (eli pysäyttämään DNA-vaurioita sisältävän solun etenemistä mitoosein), mutta sen sijaan se tunnistaa terveen p53-proteiinin, toiselta vanhemmalta perityn ja vielä vaurioitumattoman p53-geenin tuottaman ja periaatteessa toimintakykyisen proteiinin. Koska normaali p53-proteiini on lyhytikäinen ja "häirikkö" pitkäikäinen, "häiriköitä" on solussa paljon enemmän kuin toimivia 'molekyyliipoliiseja'. Kun "häirikkö" tunnistaa normaalin p53-proteiinin, se sitoutuu siihen kiinni, ja niin periaatteessa toimintakykyinenkin 'molekyyliipoliisi' inaktivoituu.

Ei vaadi paljon mielikuvitusta huomataksseen, että solun toimintakoneisto menee helposti täydellisesti sekaisin, kun keskeisessä asemassa oleva valvontajärjestelmä, joka estää haitallisesti vaurioituneen solun lisääntymistoiminnan ennen vaurion korjaamista, tuhoutuu, eikä potentiaalisesti epäsosiaalinen solu myöskään osaa tehdä altruistista itsemurhaa.

Valtaosassa ihmisen syöpäkasvaimista p53-geeni on suoraan vaurioitunut; mahdollisesti niissä kasvaimissa, joissa vauriota ei ole voitu havaita, rakenteellisesti normaali p53-proteiini ei kuitenkaan toimi. Syynä toimimattomuuteen voi olla jokin muu proteiini, joka sitoo normaalin p53:n samalla tavalla kuin "häirikkö"-p53 tai ylimäärä mdm2-proteiinia; mm. eräiden virusten proteiinit toimivat näin.

### Säteilyn vaarat

Entä sitten säteilyn aiheuttama vaara tässä yhteydessä? Kokeellisesti voidaan osoittaa, että säteilyn aiheuttama p53-geenin suora vaurioituminen on todellakin hyvin tavallista. (Huomaa, että vaikka yhdessä

solussa potentiaalisesti vaarallisia osuma-kohteita on vain kaksi, miljoonassa solussa - noin 1 mg kudosta - niitä on tietysti jo kaksi miljoonaa.) Yleensä pelkkä p53-geenin vaurio ei kuitenkaan vielä tee solusta lopullista syöpäsolua. Jotakin muutakin täytyy tapahtua.

Mahdollisuuksia on paljon; suurimmalle osalle kriittisistä muista muutoksista on yhteistä se, että ne kohdistuvat solun johonkin sisäiseen signaalijärjestelmään. Signaalijärjestelmien osasia valmistavat sellaiset geenit, joita tässä yhteydessä voidaan kutsua yhteisnimityksellä esisyöpägeenit; näistä proto-onkogeeneista on tähän mennessä selkeästi tunnistettu noin 50. Kun proto-onkogeeni vaurioituu vaikkapa jonkin kemiallisen aineen vaikutuksesta (huomaa, että 'molekyyliipoliisi' p53 ei siis toimi ja vaurio 'fiksoituu' silloin helposti), esisyöpägeeni muuttuu syöpägeeniksi; syöpägeenin tuottama signaalijärjestelmän osanen, proteiini, puolestaan toimii virheellisesti. Signaalijärjestelmä voi silloin mennä 'oikosulkuun', signaalin kulku voi katketa, jne - mahdollisuuksia on tavallaan yhtä monta kuin järjestelmässä on geenejä (nykyhetken arvaus on noin 100).

Tämän artikkelin molekyylibiologisen sanoman syövän synnystä voi siis yksinkertaistaa seuraavasti: säteily vaurioittaa solun perimän vartiointi-/valvontajärjestelmää ('molekyyliipoliisia') ja tähän riittää se, että jompi kumpi yhden solun kahdesta p53-geenistä vaurioituu. (Huomaa, että p53-geenin tuote ei kulkeudu solusta toiseen.) 'Molekyyliipoliisitoiminnan' lakkautua saman solun sisäisissä signaalijärjestelmissä voi tapahtua tavanomaista helpommin yksi tai useampia kriittisiä muutoksia (onkogeeneiden aktivoitumisia) esim. kemiallisten tekijöiden vaikutuksesta, ja näiden seurauksena solu alkaa lopullisesti käyttäytyä epäsosiaalisesti. Molekyylibiologisen perustiedon mukaan todennäköisyys saada säteilyn aiheuttama syöpä ei näin ollen ole yksinkertaisella tavalla säteilyannoksen funktio; altistuminen muille tekijöille voi suurentaa tai pienentää sairastumisvaaraa. Tilanteen positiivinen puoli on luonnollisesti se, että säteilyaltistukseen liittyvää sairastumisvaaraa voidaan pienentää myös muilla tavoilla kuin rajoittamalla annosta.

Lopuksi: edellä esitetty yksinkertaistettu molekyylibiologinen malli syövän synnystä ei tietenkään ole lopullinen eikä kattava. Periaatteessa on kuitenkin lähes varmaa, että uusi tieto ei tule kuvaa enää täysin muuttamaan. Nykyhetken "bandwagon" p53 on vauhdissa, ja jos vaunuihin ei viimeistään nyt hyppää, molekyylibiologian tasolla toimivan syöpätutkijan on paras siirtyä eläkkeelle.

LKT, professori Tapio Rytömaa on säteilyturvakeskuksen tutkimusjohtaja, p. 7082236.

**Pekka Hiismäki**

## Otaniemen Triga radioisotooppien

*Kirjoituksessa tarkastellaan säteilyteemaa säteilyn hyväksikäytön kannalta erityisesti Suomessa.*

*Säteilydiagnostiikan ja säteilytstekniikan alueilta valitut esimerkit pyrkivät valottamaan sovellutusten moninaisuutta ja käyttökelpoisuutta erilaisten tehtävien ratkaisemisessa.*

*Eniten tilaa on varattu aivotuumoreiden hoitoon tarkoitetun boorineutronikaappaushankkeen esittelymiseen. Hanke on edennyt päätöksentekovaiheeseen ja sillä voi olla ratkaiseva vaikutus Otaniemen Triga-reaktorin tulevaisuuteen.*

*Otaniemen Triga-reaktorin kolmekymmenvuotisen historian aikana on tutkittu ja kokeiltu monia säteilyteknisiä sovellutuksia.*

*Reaktorin alhainen teho, järkevä kansainvälinen työnjako ja markkinoiden kysyntä ovat seuloneet jäljelle ja nostaneet mielenkiinnon kohteeksi muutamia harvoja elinkelpoisia sovellutuksia. Mukaan on otettu myös muutamia toisilla reaktoreilla käynnissä olevia, ehkä vähemmän tunnettuja sovellutuksia, joiden arvelen kiinnostavan lukijoita.*

# reaktorin ja sillä tuotettujen säteilytekniset sovellutukset



Neutroni- ja gammasäteilyn tekninen hyväksikäyttö voidaan jakaa kahteen luokkaan. Säteilydiagnostiikassa tavoitteena on saada säteilyn läpätunkevuutta hyödyntämällä tietoa tutkittavasta systeemistä oleellisesti systeemiä häiritsemättä. Tunnetuimpia esimerkkejä ovat radioaktiivisten merkkiainien käyttö lääketieteellisessä diagnostiikassa ja teollisten tuotantoprosessien toiminnan selvittämisessä sekä erilaiset läpivalaisutekniikat. Säteilytstekniikassa pyritään diagnostiikkaan verrattuna oleellisesti suuremmilla annoksilla aiheuttamaan säteilytyksen vaikutuskohteessa tiettyjä, haluttuja muutoksia. Tästä esimerkkejä ovat sädehoito lääketieteessä, säteilysterilointi pakkausteollisuudessa ja suurjännitepuoli-johdekomponenteissa käytetyn piin seostaminen neutronitransmutaatiolla.

## Säteilydiagnostiset sovellutukset

### Neutroni- ja gammaläpivalaisu

Perinteisessä läpivalaisutekniikassa pyritään muodostamaan mahdollisimman pisentäinen säteilylähde ja valottamaan sillä tutkittavan kohteen läpi välittömästi kohteen takana sijaitseva filmi. Kätevin säteilylähde on röntgenputki, mutta suurempaa läpätunkevuutta tarvittaessa käytetään radioisotooppilähteitä tai jarrutussäteilyä. Nämä menetelmät kuuluvat ainetarikkomattoman testauksen vakiovalikoimaan ovat yleisessä käytössä tarkastustoiminnassa. Neutroniläpivalaisu on sidoksissa lähinnä tutkimusreaktoreihin ja sitä on sovellettu etenkin ydinpolttoainesauvojen läpivalaisuun. Erikoisimpana tarkastuskohteena voidaan mainita lento-koneiden siipien alumiinirakenteet, joiden

korroosiokehtien kontrasti ei ole riittävä röntgensäteille, mutta sopii hyvin neutroneille. Uusimpana kehityssuuntana on tomografia, missä useista suunnista paikkaerotteisella detektorilla mitatuista läpivalaisukuvista laskennallisesti muodostetaan läpileikkauskuvia kohteesta. Esimerkiksi on mahdollista selvittää, että polttoainepussa yksittäisiä sauvoja ei ole korvattu valesauvoilla. Otaniemessäkin tutkittiin aikoinaan neutronien läpivalaisutekniikkaa, mutta sille ei löydetty riittävässä määrin maksavia asiakkaita.

### Neutronien pienkulmasironta

Neutronien pienkulmasironnalla saadaan selville materiaalin epähomogeenisuus muutamista nanometreistä satoihin nanometreihin. Reaktoritekniikan kannalta kiinnostavin mahdollisuus on vähäisiä määriä kuparia sisältävän paineastiateräksen säteilyhaurastumisen ja sen toivutusheikutuksen tutkiminen. Pienkulmasironnalla on esimerkiksi nähty, että toivutuslämpötilan on osuttava varsin kapeaan ikkunaan. Toipumista ei tapahdu käytännössä lainkaan, jos ollaan tämän ikkunan alapuolella, kun taas ikkunan yläpuolella materiaaliin aiheutetaan pysyviä, ei toivottuja muutoksia. Menetelmä ei tietenkään korvaa ainetarikkovaa testausta, mutta täydentää sitä ja on opettanut ymmärtämään, mitä säteilyhaurastumisessa todella tapahtuu. Pienkulmasirontalaitetta on käytössä monilla tutkimusreaktoreilla, ei kuitenkaan Otaniemessä.

### Jäännösjännitysten mittaus

Rakennemetalien diffraktiospektrin alkupää koostuu yleensä harvoista, toisistaan

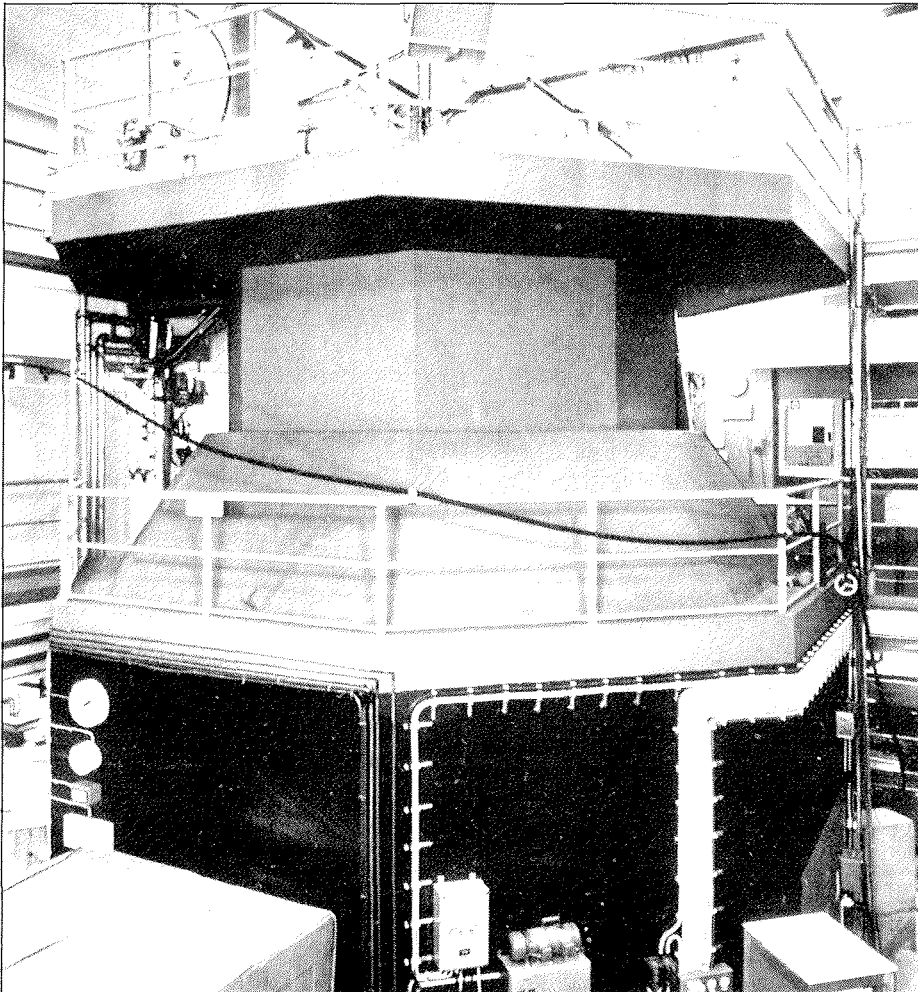
hyvin erottuvista heijastuksista tai piikeistä, joiden paikka ilmaisee hilatasojen tarkkan etäisyyden. Mittaamalla muutamien heijastusten siirtymät eri suunnista, voidaan määrätä venymäellipsoidi ja laskea edelleen jännitysellipsoidi. Röntgensäteet pystyvät määräämään jännitystilän kappaleen pinnalla, mistä myös sisäiset jännitykset periaatteessa määräytyvät. Kappaleella voi myös olla sisäisiä pintoja, joihin röntgensäteily ei tunkeudu. Tällöin jännityskenttää ei pystytä laskemaan. Neutronit pystyvät tunkeutumaan aineen sisälle paljon paremmin kuin röntgensäteet ja niiden avulla pystytään tästä syystä määräämään vaikeampien kappaleiden sisäiset jännitykset. Otaniemessä ei tällaista laitetta ole, mutta reaktorilaboratorio on toimittanut Saksaan Geesthachtin tutkimuskeskukselle kehittämänsä käänteisen lentoaika-analysaattorin siellä rakennettuun Fourier-diffraktometriin, jota on v. 1990 lähtien menestyksellisesti käytetty juuri jäännösjännitysten määrittämiseen.

### Radioisotoopit diagnostiikassa

Merkkiainetutkimuksissa käytetyt lyhytikäiset radioisotoopit ovat yleensä reaktori-isotooppeja. Teollisuuden prosessitutkimuksissa tavallisimmin käytettyjä radioisotooppeja ovat bromi-82, natrium-24 sekä kaasumainen argon-41, joita kaikkia voidaan tuottaa Otaniemessä. Nykyisin tätä toimintaa harjoittaa pääasiassa reaktorilaboratoriosta itsenäistynyt yksityinen yritys Indmeas Oy. Reaktorilaboratorio on viime aikoina rajoittunut vähälukuisempien, mutta tavallista vaativampien ongelmien selvittämiseen. →

Japanilainen näkemys BNCT-hoidosta.

JRR-2 医療照射設備



FiR-1, Otaniemen TRIGA-reaktori.

Lääketieteellisessä diagnostiikassa käytetyt radioisotoopit ovat pääosin sellaisia, joita tuotetaan edullisimmin suurilla reaktoreilla eikä sellaisia tuoteta Otaniemessä. Alan markkinajohtajaksi Suomessa on noussut MAP Medical Technologies Oy, joka kasvoi alkuun reaktorilaboratorion isotooppi tuotantoryhmänä.

#### Säteilytystekniset sovellutukset

Suomessa elinkelpoiset säteilytystekniset sovellutukset liittyvät poikkeuksetta sairaaloiden tarpeisiin. Ainoa varsinainen tuotantolinja on Ilomantsissa toimiva KOLMI-SET:in sterilointilaitos, joka tuottaa steriilejä kertakäyttötuotepakkauksia sairaaloille. Otaniemen reaktorilla tuotetaan säännöllisesti dysprosium-165-kolloidia nivelreuman sädehoitoaineeksi ja sisäänajovaiheessa on samarium-153-fosfonaatti, jota käytetään kertaikäkityksenä pysyväisvaikutteisen kivunpoistoon luustosyöpöpotilailla viimeisten elinviikkojen aikana.

#### Boorineutronikaappaushoito (BNCT)

Reaktorin palvelujen tähänastinen liikevaihto ja sen kehittämisedotukset nykyisellä tuotevalikoimalla tulevaisuudessa eivät kuitenkaan nouse tasolle, jolla voitaisiin perustella reaktorin käytön jatkamista. Uudeksi, potentiaalisesti hyvin merkittäväksi käyttökohteeksi voi nousta neutronisäteilyn avulla tehtävä aivokasvainten hoito. Boorineutronikaappaus hoidon peri-

aate on ollut tunnettu jo kauan: potilaalle annetaan selektiivisesti kasvaimen hakeutuvaa, stabiilia boori-10-isotooppia sisältävää yhdistettä ja säteilytetään kasvaimen sisältävää kehon osaa oleellisesti termisillä neutroneilla, jotka halkaisevat boorin litiumiksi ja heliumiksi ja tuhoavat paikallisesti juuri sen solun, missä booriatomi oli. Käytännössä edistymisen on tähän asti ollut varsin hidasta. Hoitokokemuksia on toistaiseksi saatu vain Japanissa, missä prof. Hatanaka on hoitanut kahdenkymmenen vuoden aikana yhteensä satakunta glioomapotilasta hyvällä menestyksellä. Gliooma on aivojen alueella esiintyvä sidekudossyöpä, johon ei ole olemassa mitään tehokasta hoitokeinoa. Suomessa tähän tautiin sairastuu vuosittain noin 200 potilasta. Neutronifyysikon tehtävänä on ratkaista kysymys, miten pään sisälle on synnyttävä riittävän intensiivinen termisten neutronien kenttä ilman, että nopeista neutroneista tai gammasäteistä aiheutuu terveelle kudokselle liian suurta annosta. Oikea vastaus näyttää olevan, että pää altistetaan epitermisille neutroneille, jotka termalisoituvat vasta pään sisällä ja jotka johtavat termisen neutronivuon maksimin muodostumiseen noin kahden sentin syvyydelle pään pinnasta. Termisen suihkun käyttö johtaa maksimin muodostumiseen päänahkaan, minkä johdosta sädehoito on annettava potilaalle kallo avattuna, niinkuin prof. Hatanaka on tehnyt. Epitermisten neutronien tapauksessa kalloa ei tarvitse avata, mikä on käytännön

kannalta ratkaiseva etu ja johtaa oleellisesti suurempaan hoitokapasiteettiin ja halvempiin yksikkökustannuksiin. BNCT on juuri nyt lisääntyvän kiinnostuksen kohteena ympäri maailmaa, mikä johtuu paljolti Hatanakan saavuttamista tuloksista. Parantamisen varaa on paljon, m.m. Hatanakan käyttämä booriyhdiste BSH kerääntyy syöpäkudokseen vain kaksi kertaa muuta kudosta paremmin. On perusteltua syytä olettaa että tämä boorisuhde onnistutaan piankin parantamaan lähes kymmeneen.

#### Suomen BNCT-projekti

Suomen parisen vuotta käynnissä olleessa BNCT-projektissa on luotu kiinteä tutkimusyhteistyö lääketieteen edustajien, leimaustekniikkaa hallitsevien radiokemistien ja neutronifyysikoiden kesken. Neutronifyysikot reaktorilaboratoriossa ovat keskittyneet selvittämään, millainen epitermisten neutronien lähde Triga-reaktorin nykyisen termisen patsaan yhteyteen voitaisiin rakentaa. Alustava hidastinaineiden seulonta tehtiin isotrooppisella ANISN-ohjelmalla, jolla löydettiin muutamia mielenkiintoisia ehdokkaita. Tarkemmat laskut tehtiin sitten kolmidimensionaalisella TORT-ohjelmalla. Tähänastisia tuloksia voidaan luonnehtia lähinnä yllättäviksi. Näyttää näet siltä, että kolmella miljoonalla markalla ilman reaktorin sydämeen tehtäviä muutoksia, oleellisesti vain korvaamalla termisen patsaan grafiitti alumiinifluoridilla ja vismutilla, Otaniemeen voidaan rakentaa hoitoasema, jonka ominaisuudet ovat maailman parhaat. Epitermisten neutronien intensiteetti on niukasti korkein, mutta, mikä tärkeintä, nopeiden neutronien osuus voidaan saada selvästi alhaisemmaksi kuin muualla. Hoitoannos kertyisi jo noin 15 minuutissa, mikä tarkoittaisi sitä, että vuosittain voitaisiin hoitaa jopa kaksi tuhatta potilasta eli kymmenen kertaa Suomen hoitotarve. Onnistuessaan hankkeella olisi luotu reaktorille merkittävä uusi käyttökohde. Neuvottelut sellaisen yritysmuotoisen organisaation perustamiseksi on käynnistetty, joka hankkisi riskirahoituksen, tilaisi tarvittavat muutostyöt ja jatkaisi työn valmistuttua vastuullisena kehitys- ja hoitoyksikkönä. Vaikeuksia on varmasti paljon vielä voitettavana.

BNCT ole ensinnäkään vielä kliinisesti varmennettu hoitomuoto, vaan on alkuaikoina luonteeltaan välttämättä tutkimukseen ja hoitokokeiluun painottuva. Harvassa paikassa on kuitenkin pystytty sillä tavalla kokoamaan kaikkia tärkeitä osasia samaan projektiin kuin nyt Meilahdessa ja Otaniemessä.

Energiantuotanto on kiistatta fission perustuvan ydinenergiatekniikan tärkein käyttökohde. Otaniemen Triga-reaktorilla olemme pyrkineet kehittämään muita käyttösovellutuksia teollisuuden ja sairaanhoidon tarpeisiin. Yleinen tieto siitä, että neutroneilla voidaan parantaa vaikeita sairauksia, voisi muokata asenteita myönteisemmäksi ydinenergian käytölle.

TkT Pekka Hiismäki on Teknillisen Korkeakoulun reaktorilaboratorion johtaja, p. 456 6320.





# EY-jäsenyys ja ydinenergia EURATOM-sopimuksen vaikutukset

***Suomen haettua maaliskuussa 1992 EY-jäsenyyttä, jäsenhakemuksia jätettiin itse asiassa kolme, joista yksi oli osoitettu Euroopan Atomienergiayhteisölle, EURATOMille. Kaksi muuta hakemusta koskivat Euroopan talousyhteisöä ja Euroopan hiili- ja teräsyhteisöä. EURATOM-jäsenyys aiheuttaisi Suomen ydinenergia-alan toimintaan muutoksia, jotka eniten vaikuttaisivat ydinenergia-alan tutkimusyhteistyöhön, ydinpolttoaineiden hankintoihin sekä ydinmateriaalivalvontaan. Euratom-sopimus ei kuulu ETA-sopimuksen piiriin, joten sen määräykset tulisivat koskemaan Suomea koko laajuudessaan vasta EY-jäsenyyden myötä.***

- varmistaa valvontatoimenpitein, että ydinaineita ei siirretä kiellettyihin tarkoituksiin,
- toimia tietyissä tapauksissa ydinaineiden omistajana
- varmistaa parhaan mahdollisen teknologian saatavuus,
- luoda yhteydet muihin maihin ja kansainvälisiin organisaatioihin ydinenergian rauhanomaisen käytön edistämiseksi.

EURATOMin perustamissopimus on varsin laaja, 225 artiklaa käsittävä asiakirja. Liitteineen se käsittää yli 100 sivua EY:n virallisessa lehdessä. EURATOM-sopimuksen nojalla on lisäksi annettu suuri joukko erilaisia säädöksiä ja päätöksiä, joiden yhteenlaskettu sivumäärä on luokkaa 400.

EURATOM-sopimus on sektorisopimus ja se on täysin riippumaton EEC-sopimuksesta. Euroopan atomienergiayhteisöllä on kuitenkin muiden yhteisöjen kanssa yhteiset hallinto- ja päätöksentekolimet, kuten neuvosto, komissio, sosiaali- ja talouskomitea ja tuomioistuin.

EURATOM-sopimusta ei ole muutettu kertaakaan sen olemassaoloaikana. Olo-

suhteiden muuttumisesta aiheutuneet muutospaineet on sen sijaan korvattu erilaisilla tulkinnoilla ja niin sanotuilla 'yksinkertaistetuilla menettelyillä', mitkä käytännössä merkitsevät sopimuksen eräiden kohtien muuttamista. Eräiltä osin sopimus on muuttunut käytännössä merkityksettömäksi.

## EY-jäsenyyden vaikutukset Suomelle

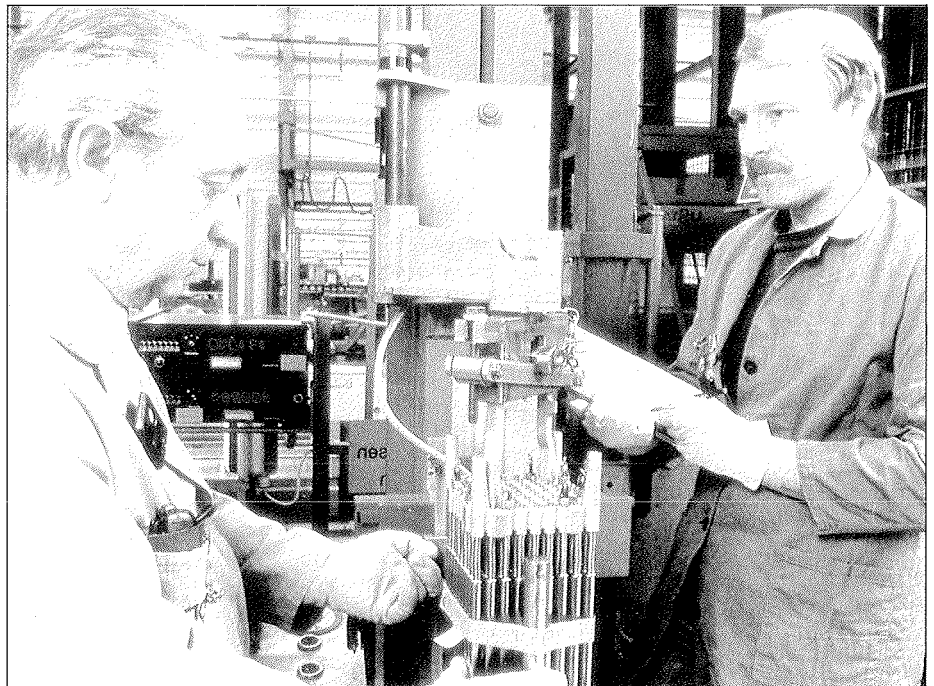
EURATOM-sopimus ja sen nojalla annetut asetukset ovat sellaisenaan voimassa olevaa lainsäädäntöä jäsenmaissa. Neuvosto on lisäksi antanut joukon direktiivejä, jotka edellyttävät jäsenmaiden lainsäädäntöjen laatimista/ muuttamista sellaisiksi, että direktiiveissä asetettuja velvoitteita voidaan noudattaa.

EURATOM-sopimukseen perustuvat järjestelyt eivät kuulu ETA-sopimuksen piiriin ja siten ne vaikuttavat Suomessa vasta mahdollisen EY-jäsenyyden myötä. Merkittävimmät vaikutukset Suomelle aiheutuisivat tutkimusyhteistyötä, ydinmateriaalivalvontaa (safeguards-valvonta) ja erityistä hankintajärjestöä (Supply Agency) koskevista määräyksistä. →

Euroopan Atomienergiayhteisön, EURATOMin perustamissopimus allekirjoitettiin 25.3.1957 Roomassa samaan aikaan EEC-sopimuksen kanssa. Sopimuksen mukaan EURATOMin tavoitteena on luoda edellytykset ydinenergian nopealle käyttöönnotolle ja ydinenergiateollisuuden kasvulle EY-maissa. Ydinenergiateollisuus oli tuolloin Euroopassa varsin vaatimatonta kehitysvaiheessa ja Euroopan Atomienergiayhteisön tarkoituksena olikin aikaansaada Eurooppaan nopeasti laaja oma ydinenergiateollisuus vastapainoksi USA:n valta-asemalle tällä alalla.

Edellä mainitun tavoitteen saavuttamiseksi EURATOMin tehtävänä on:

- edistää alan tutkimusta ja tietämyksen levittämistä,
- luoda yhdenmukaiset turvallisuusstandardit työntekijöiden ja väestön terveyden suojelemiseksi,
- helpottaa investointeja ydinenergian rakentamiseksi
- varmistaa säännölliset ja tasapuoliset malmien ja ydinpolttoaineen toimitukset kaikille käyttäjille yhteisössä



*Polttoainesauvojen valmistusta KWU:n tehtaalla Saksassa, missä valmistetaan myös osa TVO:n ydinpolttoaineesta. Suomen EY-jäsenyys merkitsisi, että TVO joutuisi hankkimaan polttoaineen valmistusta varten tarvittavan uraanin ostoilta Euratom Supply Agency:n hyväksynnän.*

## Ydinenergia-alan tutkimus

### Ydinenergiatutkimus EY:ssä

EY-maiden yhteistyönä toteuttama ydinenergiatutkimus on osa EY:n T&K-puiteohjelmia. Ydinenergiatutkimuksen laajuus toisessa puiteohjelmassa (1987-1991) on noin 1051 MECU, joka on noin 90 % koko energiaturkimuksesta (1173 MECU), ja kolmannessa puiteohjelmassa (1991-1994) noin 657 MECU, joka on noin 81% koko energiaturkimuksesta (814 MECU).

Heinäkuussa 1992 komissio esitti kolmannen T&K-puiteohjelmaan peräti 1,6 miljardin EUn lisäystä. Tästä 70 MECUa suunnattaisiin fissiotutkimusohjelmaan ja 160 MECUa fuusiotutkimukseen.

Kolmannen puiteohjelman ydinenergiatutkimus jakaantuu kahteen pääalueeseen, jotka ovat "Ydinfission turvallisuus" ja "Kontrolloitu ydinfuusio". Näistä fuusiotutkimuksen osuus on merkittävästi suurempi; sen laajuus on 458 MECU, fissiotutkimuksen osuuden ollessa 199 MECU koko ohjelmakaudella. Ydinfission turvallisuus-tutkimukseen varatusta määrärahasta peräti 162 MECU ohjataan JRC:lle (Joint Research Centre), 29 MECU varataan säteilysuojelu-ohjelmalle ja ainoastaan 8 MECU varataan ydinturvallisuustutkimukseen. Toisen puiteohjelman ydinjätetutkimus-ohjelma ulottuu vuoteen 1994 saakka, minkä vuoksi ydinjätetutkimusta ei ole lainkaan sisällytetty kolmannen puiteohjelmaan.

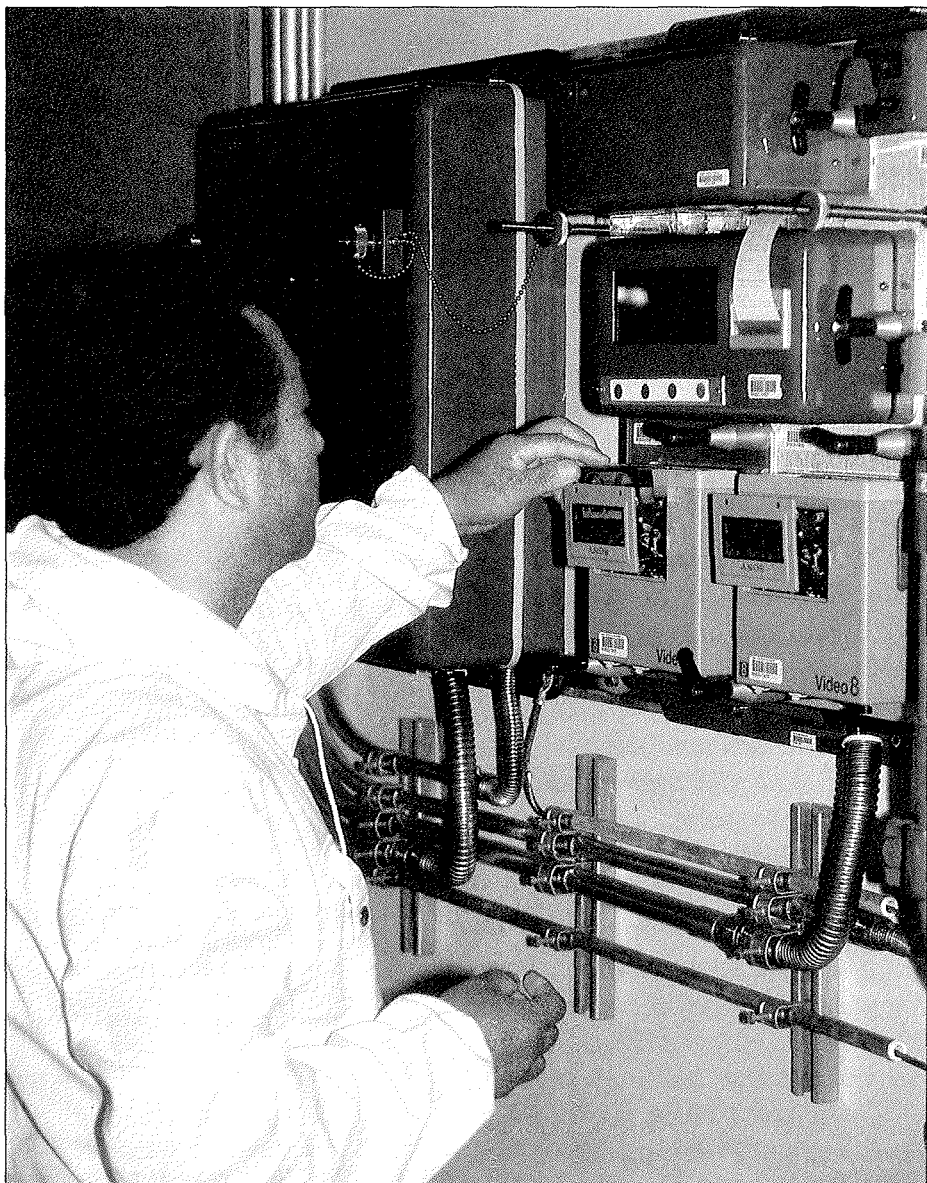
### Suomen osallistuminen EY:n ydinenergia-alan tutkimusyhteistyöhön

Suomi on tähän mennessä osallistunut EY:n ydinenergiatutkimusohjelmiin vähäisessä määrin projektitasolla sekä ydinjätetutkimusta koskevan tietojenvaihtosopimuksen pohjalta.

ETA-sopimuksen mukaan EFTA-maat voivat niin halutessaan liittyä täysimääräisesti myös kaikkiin kolmannen puiteohjelman ydinenergia-alan tutkimusohjelmiin. Suomi ei ole toistaiseksi tehnyt tällaista liittymispäätöstä. Projektiosallistumista on kuitenkin pyritty lisäämään silmälläpitäen mahdollista EY-jäsenyyttä, jolloin kaikkiin tutkimusohjelmiin liittyminen tulisi pakolliseksi. Suomen projektiosallistumisen laajuus vuonna 1993 on luokkaa 2,5 Mmk.

Suomen liittyminen EY:hyn tapahtuisi aikaisintaan vuonna 1995 tai 1996, jolloin jäsenyyden aiheuttama 'pakkoliittyminen' koskisi itse asiassa neljättä tai viidettä puiteohjelmaa. Kolmannen puiteohjelmaan esitetyt lisäykset huomioonottaen voidaan arvioida, että neljännen puiteohjelman ydinenergiatutkimuksen rahoitus yhteisön budjetissa olisi yli miljardi ECUa.

On kuitenkin syytä huomata, että kaikesta yhteisön alueella tehtävästä tutkimuksesta ainoastaan noin 4 % tehdään yhteisön T&K-puiteohjelmissa.



IAEA:n tarkastaja suorittamassa Suomi-IAEA-valvontasopimuksen mukaista tarkastusta Olkiluodon ydinvoimalaitoksella. Suomen EY-jäsenyys toisi hänen seurakseen myös Euratomin tarkastajan Luxemburgista.

### Suomen maksuosuudet

Suomen maksuosuus EY:n T&K-puiteohjelmista määräytyisi suhteessa bruttokansantuotteeseen ja olisi noin 2 % kokonaiskustannuksista. Tämän jäsenmaksutyypin osuuden lisäksi tarvitaan myös kansallista rahoitusta, jotta yhteisölle maksetusta osuudesta voitaisiin saada palautetuksi mahdollisimman suuri osa. Puiteohjelmassa toteutettavat projektit, joille annetaan rahoitusta myös EY:n budjetista, valitaan jäsenmaiden esittämien projektiehdotusten perusteella eli kilpailuttamalla. Ydinenergia-alan tutkimusohjelmista aiheutuisi Suomelle 20-25 Mmk:n kokonaiskustannukset vuodessa.

### Ydinturvallisuus

EY:llä ei ole ydinturvallisuutta koskevia yhteisiä vaatimuksia eikä niitä koskevia direktiivejä ole annettu. Ydinturvallisuus-

desta on kuitenkin annettu joukko suosituksia, joiden tarkoituksena on yhtenäistää jäsenmaissa sovellettavia vaatimuksia. Suositukset koskevat sekä teknisiä kysymyksiä että tietojen antamista komissiolle ja lähinaapureille ydinlaitoksista ja niiden käytöstä sekä radioaktiivisten jätteiden loppusijoittamisesta.

Suomen ydinturvallisuusmääräykset ovat hyvin sopusoinnissa näiden suositusten kanssa. Lisäksi Suomesta on jo vuodesta 1985 lähtien ollut edustaja eräissä ydinturvallisuutta käsittelevässä komission asiantuntijatyöryhmässä. Työryhmän tehtävänä on pyrkiä yhdenmukaistamaan ydinvoimalaitoksia ja ydinjätteitä koskevaa jäsenmaiden säännöstöä ja turvallisuusvalvontaa sekä toimia komission neuvonantajana.

Voidaan todeta, että merkittävä osa ydinturvallisuutta koskevasta yhteistyöstä tapahtuu tutkimusyhteistyön kautta.

## Säteilysuojelu

Kaikki säteilysuojelua koskevat määräykset on EY:ssä annettu EURATOM-sopimuksen nojalla riippumatta siitä liittyvätkö ne ydinenergian käyttöön.

Säteilysuojelusta on annettu joukko asetuksia, direktiivejä ja päätöksiä, jotka sisältävät määräyksiä elintarvikkeiden radioaktiivisuudesta sekä työntekijöiden ja suuren yleisön terveyden suojelemisesta ionisoivan säteilyn vaaroja vastaan. Määräykset perustuvat olennaisesti ICRP:n (International Commission on Radiation Protection) suosituksiin samoin kuin Suomenkin vastaavat määräykset.

Suomessa vuonna 1991 voimaantulleessa uudessa säteilylaissa ja -asetuksessa on myös otettu huomioon EY:n vastaavia säästöjä. Muun muassa säteilylaissa määrittely tyyppihyväksyntä vastaa nykyisellään EY:n käytäntöä. Samoin laitteille asetettuja teknisiä vaatimuksia on pyritty harmonisoimaan olemassa olevien EY-standardien kanssa.

Säteilyn alaisen toiminnan harjoittaminen edellyttää Suomessa EY:tä tiukempien vaatimusten täyttämistä. Työvoiman liikkuvuuden ja säteilyn lääkinnällisen käytön suhteen Suomen säteilyturvallisuusvaatimukset ja -käytäntö kattavat EY:n vaatimukset työntekijöiden suojelemiseksi. Ehdotuksissa direktiiveiksi elintarvikkeiden tai niiden lisäaineiden säteilyttämisestä määräykset ovat sallivampia kuin Suomen nykyiset määräykset.

EY:ssä on valmisteilla säteilysuojelun perusstandardien muutoksia, jotka toisivat EY:n määräykset lähemmäksi Suomen nykyisiä määräyksiä.

Suomessakin runsaasti keskustelua herättänyt on vuoden 1992 helmikuussa voimaantullut säteilysuojeludirektiivi, joka koskee radioaktiivisten jätteiden siirtämistä maasta toiseen. Direktiivin mukaan jätteen lähettäjän on hankittava tätä varten lupa lähettävän maan, vastaanottavan maan ja mahdollisen kauttakulkumaan toimivaltaisilta viranomaisilta—myös siinä tapauksessa, että joku tai jotkut em. maista ovat EY:n ulkopuolisia maita. Direktiivin mukaan ulkomaisen jätteen kohdalla ei saa asettaa tiukempia vaatimuksia kuin oman maan vastaaville jätteille asetettaisiin.

Edellä mainittuun direktiiviin ja tavaroiden vapaan liikkumisen periaatteeseen vedoten eräät tahot ovat esittäneet väitteitä, että vastaisuudessa ydinjätteitä ja muita radioaktiivisia jätteitä voitaisiin siirtää jäsenvaltiosta toiseen, esimerkiksi loppusijoittamista varten, vastaanottavan maan voimatta sitä estää.

Voidaan kuitenkin todeta, että toistaiseksi ei ole ilmennyt mitään, mikä tukisi tämän väitteen paikkansapitävyyttä. Päinvastoin, EY:n suuret maat kuten Englanti, Saksa ja Ranska noudattavat politiikkaa, jonka mukaan toisesta valtiosta peräisin olevia radioaktiivisia jätteitä ei saa tuoda näihin maihin lopullisesti sijoitetta-

viksi. Esimerkiksi Englanti ja Ranska tekevät jälleenkäsittelysopimuksia muiden maiden yhtiöiden kanssa ainoastaan sillä ehdolla, että jälleenkäsittelyjätteet palautetaan jätteet lähettäneeseen maahan.

EY:n komissio on tosin eri yhteyksissä kannustanut jäsenmaita vapaaehtoiseen yhteistyöhön jätehuollon toteuttamisessa. EY:n komission suunnitelmassa on myös tehdä ehdotus EY:n yhteiseksi strategiaksi radioaktiivisten jätteiden käsittelylle. Yksikäsitteinen selvitys asiaan saataneen vasta tämän strategian valmistuttua tai, kuten EY:ssä usein on tapana, Euroopan tuomioistuimessa ratkaistavien ennakkotapausten kautta.

## Ydinpolttoainehankinnat, Supply Agency

Ehkä suurin periaatteellinen vaikutus Suomelle aiheutuisi polttoainehankintoja koskevista määräyksistä. EY:ssä on erityinen hankintajärjestö (Supply Agency), jonka kautta kaikki polttoainehankinnat tulee tapahtua.

Ydinpolttoaineen valmistuksessa tarvittavien aineiden hankinnoissa lähdetään EY:ssä siitä, että varmistetaan näiden aineiden tasapuolinen saatavuus ja hankinnat toteutetaan yhteisesti harjoitettavan hankintapolitiikan periaatteilla.

EURATOM-sopimuksen mukaan yhteisö omistaa kaiken jäsenmaissa olevan erityisen halkeamiskelpoisen aineen (rikastettu uraani ja plutonium-239). Supply Agency:llä on etu oikeus kaikkiin yhteisön alueella tuotettui-

hin ydinaineisiin sekä yksinoikeus solmia sopimuksia, jotka koskevat ydinainehankintoja yhteisön sisä- tai ulkopuolelta.

Jäsenvaltioilla, henkilöillä ja yrityksillä on kuitenkin mahdollisimman laajat oikeudet hallussaan olevien ydinaineiden käyttöön ja kuluttamiseen. Supply Agency:n tehtävänä on pitää erityistä tilikirjaa yhteisön 'omistamista' ydinaineista.

Muut yhteistä hankintapolitiikkaa koskevat säännökset, eräitä malminetsintää koskevia määräyksiä lukuunottamatta, ovat luonteeltaan ohjeellisia. Komissio voi lisäksi tukea malminetsintää, antaa suosituksia jäsenmaille sekä perustaa kaupallisia ja varmuusvarastoja.

## Soveltamiskäytäntö

Edellä esitettyjä tiukkoja määräyksiä on toisaalta lievennetty erilaisilla myönnytyksillä. Yhteisön alueella tuotetut ydinaineet on tarjottava Supply Agency:lle ja Supply Agency on velvollinen toteuttamaan kaikki sille yhteisön piiristä tehdyt ydinmateriaalitulaukset paitsi, jos on olemassa laillisia tai materiaalisia esteitä. Supply Agency:n etuoikeuden osalta tehdään poikkeuksia, jos ydinaineen tuottaja käyttää tuotetta omaan tarkoitukseensa tai, tietyillä ehdoilla, antaa ydinaineen toisen yhteisössä olevan yhtiön käyttöön. Samanlaisia myönnytyksiä on myös hinnoittelussa sekä käyttäjien oikeudessa solmia suoria sopimuksia yhteisön ulkopuolelta tehtävistä hankinnoista silloin, kun Supply Agency ei kykene täyttämään ti-

Taulukko 1. Energiatutkimuksen osuudet EY:n puiteohjelmissa

Puiteohjelma	kok.laajuus MECU	energiatutkimus MECU	ei-ydininen MECU	ydininen MECU
2. Puiteohjelma 1987 - 1991	5396	1173 (21%)	122	1051
3. Puiteohjelma 1991-1994	5700	814 (14%)	157	657 1)
4. Puiteohjelma 1993 - 1997	7500	900 (12%)	180	720
5. Puiteohjelma 1996-2000	?	?	?	?

1) EY:n komissio on esittänyt kolmanteen puiteohjelmaan 1,6 mrdECUn lisäystä, josta energiaturkimukseen suunnattaisiin 814 MECU.

Taulukko 2. Kolmannen puiteohjelman 1991—1994 ydinenergiatutkimus

1 Nuclear Fission Safety		199 MECU (+60 MECU)
- Joint Research Centre	162 MECU	
- Radiation Protection	29 MECU	
- Reactor Safety	8 MECU	
2 Controlled Thermonuclear Fusion		458 MECU (+170 MECU)

1) Komission esittämä lisärahoitus

lauksia. Tämä antaa tuottajille mahdollisuuden viedä malmeja ja lähtöaineita (luonnon uraani, köyhdytetty uraani, torium) komission antamilla valtuuksilla. Erityistä halkeamiskelpoista ainetta saa kuitenkin viedä ainoastaan Supply Agency:n kautta.

Teollisuuden realiteetteja on myös otettu määräyksissä huomioon sallimalla yhteisön tuottajien itse valita sen tuotantovaiheen, jolloin ne tarjoavat tuotetta Supply Agency:lle. Samoin otetaan myös huomioon eri tuotantovaiheita toteuttavien yritysten yhteydet toisiinsa. Supply Agency:n oikeuksia ei sovelleta hankkeisiin, joissa ydinaineet palautetaan eri prosessointivaiheiden jälkeen alkuperäiselle omistajalle. Poikkeuksia sallitaan myös, jos hanke on osa suuremmasta sopimuksesta tai, kun on kysymys vähäisistä määristä.

Supply Agency on käyttänyt oikeuksiaan, erityisesti etuoikeuttaan ydinaineisiin sekä oikeuttaan solmia hankintasopimuksia, hyvin rajallisesti. Tähän on varsinaisesti kaksi syytä. Ensiksikin uranimarkkinoiden runsaus on aiheuttanut sen, että materiaalivarojen tasapuolisen saatavuuden varmistamiseksi ei ole ollut tarvetta ryhtyä toimintaa ohjaaviin ja rajoittaviin toimiin. Toisaalta muiden maiden, erityisesti USA:n, lainsäädännön kehittyminen on vaikuttanut sopimuksen toimeenpanoon näiltä osin.

Mitä tulee Supply Agency:n yksinoikeuteen solmia hankintasopimuksia, sitä sovelletaan malmeja ja lähtöaineita koskeviin hankintasopimuksiin ja erityisiin halkeamiskelpoisia aineita koskeviin hankintasopimuksiin eri tavalla. Malmeja ja lähtöaineita koskevien sopimusten osalta on säädetty ns. yksinkertaistetusta menettelystä (15.7.1975). Tämän mukaisesti, jos komissio on todennut esiintyvän materiaalien ylläpidon, yhtiöillä on oikeus suoraan neuvotella ja allekirjoittaa hankintasopimukset, jotka sitten katsotaan Supply Agency:n solmimiksi. Sopimusten on kuitenkin täytettävä Supply Agency:n asettamat ehdot ja niistä on ilmoitettava Supply Agency:lle, joka voi tarvittaessa esittää perustellun vastustuksensa kahdeksan päivän kuluessa.

Erityisten halkeamiskelpoisten aineiden osalta määräyksiä sovelletaan tiukemmin; Supply Agency on aina allekirjoittanut niitä koskevat hankintasopimukset, vaikka tuottajat ja käyttäjät olisivatkin ne yksin neuvotelleet.

Edellä mainituista soveltamiskäytännöistä on säädetty asetuksilla ja Supply Agency:n säännöillä, joten tosiasiallisesti ne merkitsevät Euratomin perustamissopimuksen näiden kohtien pysyvää muutosta.

EURATOMin ja muiden maiden — erityisesti sellaisten maiden, jotka ovat merkittäviä raakauraanin tuottajia tai rikastus- ja polttoaineenvalmistuspalvelujen toimittajia — välillä solmitut sopimukset ovat johtaneet myös Supply Agency:n toimien kehittämiseen. Näihin sopimuksiin sisältyy materiaalitöimituksiin liittyviä tiukkoja ydinsulkupoliittisia ja turvajärjestelyjä koskevia määräyksiä. Supply Agency kes-

kittykin nykyään sopimusten solmimisen sijasta toimimaan komission neuvonantajana, kun sopimuksista neuvotellaan tai toimeenpanoon liittyviin ongelmiin haetaan ratkaisuja. Supply Agency avustaa myös yhteisön yrityksiä korkearokasteisten uraanin hankintojen luvittamiskysymyksissä sekä erilaisissa sopimuskysymyksissä.

### Tehtyjä muutosehdotuksia

Yhteisön yhteistä hankintapolitiikkaa ja Supply Agency:n toimintaa koskevaa perusteellista uudistusta on komissio ehdottanut jo vuonna 1982. Ehdotuksen mukaan Supply Agency menettäisi etuoikeutensa materiaaleihin sekä yksinoikeutensa solmia hankintasopimuksia. Yhteisön ulkopuolelta tulevia tai yhteisön maiden välisiä materiaaliin siirtoja koskevat rajoitukset poistettaisiin ja tilalle laadittaisiin kriteerit, joissa otetaan huomioon jäsenmaiden ydinsulkupoliittiset velvoitteet. Lisäksi vienti edellyttäisi komission antamaa lupaa, jossa otettaisiin huomioon yhteisön ydinsulkupoliittikka. Neuvosto ei ole toistaiseksi ottanut kantaa komission ehdotukseen.

Vuonna 1985 komissio teki ehdotuksen, joka koskee ydinmateriaalien ja teknologian vientiä yhteisön ulkopuolelle. Ehdotuksen mukaan Yhteisölle luotaisiin yhteinen vientipoliittikka, johon sisällytettäisiin ns. Lontoon suuntaviivojen mukaiset ydinsulkupoliittikka ja turvajärjestelyjä koskevat vientiehdot. Komissio myöntäisi vientiluvat. Tällaista yhteistä vientipoliittikkaa yhteisöllä ei aikaisemmin ole ollut vaan jäsenvaltiot ovat itse hoitaneet tähän liittyvät kansainväliset velvoitteet. EURATOMilla on tosin eräiden valtioiden, kuten Australian ja Kanadan, kanssa kahdenvälisiä sopimuksia, joihin on sisällytetty vastaavia määräyksiä. Nämä sopimukset velvoittavat myös EURATOMin jäsenvaltioita näiden antaessa vientilupia. Neuvosto ei ole toistaiseksi ottanut kantaa tähänkään ehdotukseen.

Elokuussa 1992 komissio teki lisäksi asetusehdotuksen, jossa säädettäisiin ns. kaksoiskäyttötuotteiden vientiä koskevista yhteisistä politiikasta. Tähän sisällytettäisiin myös keskeisten ydinenergia-alan viejämaiden yhteisesti huhtikuussa 1992 hyväksymä ydinenergia-alan kaksoiskäyttötuotteiden vientivalvontajärjestelmä, joka tulee voimaan vuoden 1993 alussa.

EY-jäsenyyden vaikutuksia arvioitaessa on otettava huomioon, että EY:n ydinpolttoainehankintoja ja omistusoikeuksia koskevat määräykset ovat voimassa siinä muodossa kuin ne on kirjattu Euratomin perustamissopimukseen ja niitä tullaan tarvittaessa varmaan myös käyttämään. Esimerkkinä tällaisesta on vuoden 1992 alussa esiin tullut tilanne, jolloin Supply Agency kiinnitti huomiota toimitusvarmuuden kannalta uuteen ilmiöön; entisen Neuvostoliiton alueelta alkoi tulla Euroopan markkinoille runsaasti edullista uraania. Supply Agency katsoi, että pitkällä tähtäimellä tämä heikentää toimitusvarmuutta, koska suuri osa muista toimituskanavista saattaa uudessa kilpailutilanteessa poistua markkinoilta. Supply Agency pää-

tyikin esittämään, että yrityksen uraanihankinnat entisen Neuvostoliiton alueelta eivät saa ylittää 20 prosenttia yrityksen yhteisön ulkopuolisista uraanihankinnoista.

### Ydinmateriaalivalvonta (Safeguards)

Kansainvälisen Atomienenergiajärjestön (IAEA) ydinsulkusopimuksen nojalla toteuttama safeguards-valvonta (valvonta, jolla todennetaan, että ydinaineita ei siirretä kiellettyihin tarkoituksiin) perustuu jäsenmaiden kansallisesti ylläpitämiin valvontajärjestelmiin. Suomessa kansallista valvontajärjestelmää ylläpitää säteilyturvakeskus, joka hoitaa valvontasopimuksen toimeenpanon edellyttämän raportoinnin ja yhteydenpidon IAEA:han.

EY-maissa kansallista valvontajärjestelmää vastaa yhteinen, Luxemburgissa sijaitseva EURATOM Safeguards-direktoraatti, joka on suoraan yhteydessä jäsenmaiden ydinaineita hallussapitäviin laitoksiin.

EY-jäsenyys merkitsisi liittymistä Euratomin safeguards-järjestelmään. IAEA:n kanssa tehty valvontasopimus kumottaisiin ja Suomi liittyisi Euratomin ja IAEA:n väliseen valvontasopimukseen. IAEA:n tarkastajien lisäksi Suomessa tulisi tekemään tarkastuksia myös EURATOMin tarkastajat.

Vaikka EURATOMin safeguards-menettelyt ovatkin paljolti samanlaiset kuin Suomen nykyisessä järjestelmässä, jouduttaisiin järjestelmään tekemään runsaasti hallinnollisia ja teknisiä muutoksia, esimerkiksi valvonnassa käytettävät tietokoneohjelmit jouduttaisiin osittain uusimaan.

### Bilateraalisopimukset

EY:llä on ydinenergia-alan sopimukset Australian, Kanadan ja USA:n kanssa. Komissiolle on keväällä 1992 annettu valtuudet neuvotella USA:n kanssa uusi ydinenergia-alan sopimus.

Myös Suomella on kahdenväliset ydinenergia-alan yhteistyösopimukset edellä mainittujen maiden kanssa. Suomen EY-jäsenyyden myötä näiden sopimusten sellaisten määräysten, jotka sisältyvät EY:n tekemiin vastaaviin sopimuksiin, soveltaminen keskeytettäisiin toistaiseksi. Suomen tekemät sopimukset jäisivät kuitenkin eräiltä osin edelleenkin voimaan, koska ne sisältävät elementtejä, joita Euratomin tekemiin sopimuksiin ei sisälly. Tällaisia elementtejä ovat esimerkiksi Suomen ja USA:n välisen sopimuksen määräys, jonka mukaan yhdysvaltalaisista alkuperää olevan materiaalin jälleensiirrolle kolmanteen maahan tarvitaan USA:n etukäteissuostumus. Suomen ja Kanadan välinen sopimus koskee myös tietotaitoa, joka ei puolestaan sisälly EY:n ja Kanadan väliseen vastaavaan sopimukseen.

FL Mauri Riihonen on Kauppa- ja Teollisuusministeriön energiaosaston ylitarkastaja, p. 1605256.



## Lyhyesti maailmalta

**Belgian** Doel 3 yksiköllä havaittiin, että suojarakennuksen sähköjohtojen läpiviennit ja kytkimet eivät kestäisi kuumissa onnettomuusolosuhteissa. Eräät kytkimistä korjattiin heti ja onnettomuusohjeisiin tehtiin analyysin perusteella tilapäismuutoksia, jotta laitosta voitaisiin käyttää seuraavaan vuosihuoltoon asti. Tapauksen vakavuusluokka on kaksi.

IAEA INES 29.9.1992

**Espanjan** ydinturvallisuusviranomaisen (CSN) ilmoittaa maan yhdeksän ydinvoimalaitosyksikön turvallisuuden olevan kehittyneiden maiden tasoa. Maan vanhimpien yksiköiden turvallisuutta on nostettu huomattavasti toteuttamalla CSN:n vaativat laitosmuutokset. Ydinturvallisuusviranomaisen on äskettäin raportoinut maan ydinturvallisuustilanteesta Espanjan kongressin presidentille.

Ens NucNet 20.7.1992

**Egypti** on sisällyttänyt ydinvoimalaitoksen maan uusimpaan viisivuotissuunnitelmaan, ilmoittaa Egyptin ydinvoimaviranomaisen johtaja Ali Fahmy El-Saiadi. Mahdollisen laitoksen rakentaminen aloitettaisiin 1994–95. Egypti on epäonnistunut jo kolmasti ydinvoiman rakentamisen aloittamisessa: 60-luvulla, 70-luvulla ja viimeksi 80-luvulla Tshernobylin onnettomuuden aiheuttama ydinvoimavastaisuutta maassa. Nyt aiotun laitoksen koko olisi 600 MW ja se sijoitettaisiin El Dabaan. Egyptissä on selvitetty aurinkoenergian käyttöä sähköntuotantoon ydinvoiman vaihtoehtona. Sen todettiin vaativan 600 neliökilometrin alueen peittämistä aurinkokennoilla ja hylättiin autiomaaympäristöä vaarantavana vaihtoehtona.

Nucleonics Week 24.9.1992

**Etelä-Korea** on tilannut kaksi uutta ydinvoimalaitosyksikköä. Kyseessä on Wolsong 3 ja 4-yksiköt ja toimittajana Kanaan AECD. Yksiköt ovat CANDU-tyyppiä, kuten laitoksen aiemmat yksikötkin. Etelä-Korealla on yhdeksän toimivaa laitosyksikköä ja suunnitelmissa on tilata 18 lisää.

Ens NucNet 18.9.1992

**Iran** ja Venäjä ovat sopineet yhteistyöstä, joka tähtää kahden VVER 440 ydinvoimalaitosyksikön rakentamiseen Iraniin, ilmoittaa maan atomienergiaorganisaation presidentti Reza Amrollahi. Iran tarvitsee uutta sähköntuotantokapasiteettia kasva-

van kulutuksen kattamiseen ja meriveden suolanpoistoon. Laitokset toteutettaisiin IAEA:n ohjeiden ja valvonnan alaisena. Venäjän osuus kattaisi myös laitosten käytön ja mm. henkilöstön koulutuksen sekä ydinturvallisuuskysymykset. Iran osti aikoinaan Saksan Siemens KWU:lta kaksi ydinvoimalaitosyksikköä Bushehriin. Niiden rakentaminen aloitettiin vuonna 1975, mutta projekti lopetettiin jo vuonna 1979 Saksan hallituksen määräyksestä Iranin johdossa tapahtuneiden muutosten vuoksi. Iran aikoo saattaa valmiiksi pahoin suolaisten merituulten korrodoimat keskeneräiset yksiköt ulkopuolisin voimin.

Ens Nuc Net 30.9.1992

**Japanin** Fucushima Daiichi 2 BWR 760 MW GE Toshiba-yksiköllä 29.9.1992 tapahtuneen pikasulun yhteydessä pääsi reaktorin vedenpinta laskemaan normaalia 5,5 metristä 2,2 metriin polttoaineen päällä. Veden pinta saatiin nostettua eristetyin sydämen jäähdytysjärjestelmän ja hätäjäähdytysjärjestelmän (ECCS) avulla. Tapauksesta selvitettiin tällä kertaa säikähdyksellä, mutta ECCS:ää tarvittiin toimiin jo toisen kerran maan ydinvoimahistoriassa, edellinen kerta oli kuuluisa Mihama 2-tapaus helmikuussa 1991. Tapahtuman alustava vakavuusluokka on 0.

Nucleonics Week 1.10.1992

**Kuuban** Juragua 1 ja 2 VVER 440 MW-yksiköiden rakentaminen on keskeytetty toistaiseksi Venäjän vaadittua länsivaluuttaista 200 miljoonan dollarin maksusuuritusta, ilmoittaa presidentti Fidel Castro. Juragao 1 on lähes valmis (90 %). Kuuba ei ole onnistunut saamaan Saksan Siemens-KWU:ta kytketyksi projektiin, kuten ei myöskään Argentiinaa ja Irania, joiden kykyjä epäillään. Kuuban ydinenergiaohjelmasta vastannut presidentin poika "Fidelito" Castro Diaz-Balart erotettiin heinäkuussa saamattomuuden vuoksi.

Nucleonics Week 10.9.1992

**Liettuan** ydinturvallisuusviranomaisen (Vatesa) johtajaksi on nimitetty V. Vaishnis 1.7.1992 lukien. Gennadi Lipunov, joka hoiti aiemmin tilapäisesti em. vakanssia on nimitetty nyt apulaisjohtajaksi. Vatesi myönsi Ignalina 2-yksikölle käynnistyslupaa vuosihuollon päätyttyä, vaikkei kaikkia viallisten polttoainekanaalien hitsejä korjattukaan. Viallisten 578 polttoainekanaavan (1 661 kanavaa) hitseistä korjattiin pahinta tapausta. Saman-

laisia vikoja on myös muissa RBMK-yksiköissä, kuten Leningrad 3 ja 4-, sekä Tshernobyl 3-yksiköissä. Ruotsin ydinturvallisuusviranomaisen SKI on osallistunut hitsiongelman arviointiin.

Nucleonics Week 23.7.1992

**Liettuan** ydinturvallisuusviranomaisen ihastelee Ruotsin ydinvoimalaitosten käytetyn ydinpolttoaineen käsittelyä vuosihuolloissa ja ilmoittaa haluavansa soveltaa näitä menetelmiä Ignalinan ydinvoimalaitokseen. Kolme Liettuan ydinturvallisuusviranomaisen (Vatesi) tarkastajaa vieraili elokuussa Ruotsin keskitetyssä käytetyn ydinpolttoaineen varastossa, CLABissa ja Forsmarkin ydinvoimalaitoksella. Vatesin ydinturvallisuusasiantuntija Mikhail Demchenko sanoo, että CLABin hallittu käyttö teki sykähdyttävän ja mieluisan vaikutelman. Ignalinan käytetyn ydinpolttoaineen varastotilat riittävät enää kahdeksi vuodeksi. Ruotsin SKIn Nistad pitää kahta vuotta lyhyenä, mutta ei mahdollisena toimitusaikana kuivatyyppiselle varastolle.

Nucleonics Week 3.9.1992

**Ruotsin** Oskarshamn 1 BWR 440 MW-yksikön vuosihuolto piteni viikolla, kun turbiiniakselin kytkimen kiinnityksen varmistusruuvista löytyi säröjä. Ydinturvallisuusviranomaisen (SKI) mukaan säröt oli aiheuttanut löysä kiinnitys tai akselin värähtelyt. Säröt poistettiin hiomalla. Oskarshamn 1 sijaitsee Ruotsin itärannikolla noin 200 km Tukholmasta etelään ja se on maan vanhin ydinvoimalaitosyksikkö. Käyttöönotto tapahtui vuonna 1971.

Nucleonics Week 4.6.1992

**Ruotsi ja Liettua** tekevät yhdessä Ignalinan ydinvoimalaitoksen todennäköisyyspohjaisen turvallisuusanalyysin (PSA) käyttäen runkona Ruotsin Barsebäckin ydinvoimalaitoksen vastaavaa. "Barselina"-projektin työtä vaikeuttaa osan Ignalinan teknisestä aineistosta puuttuminen laitospaikalta ja sen saantivaikeudet Moskovasta. Ruotsin ydinturvallisuusviranomaisen (SKI) kansainvälisten projektien päällikkö Jan Nistad ilmoittaa, että Ruotsi ei vastaa Ignalinan käytöstä päinvastaisista väitteistä huolimatta.

Nucleonics Week 6.8.1992

**Ruotsin** säteilyturvaviranomainen Statens Strålskyddsinstitut (SSI) on takavarikoinut kuparilevyromua 20 tonnin erän, joka oli



tuotu Virossa Ruotsiin sulatettavaksi. Romun aktiivisuuspitoisuus oli 1000—10 000 becquereliä kilolta. Kontaminaatio on pääosin koboltti 60 isotooppia, mutta cesium 137:kin esiintyi. Tulli havaitsi erän radioaktiivisuuden erikoistarkastuksessa, joita on tehty idästä saapuvalla romulle kevästä lähtien. SSI:n Jorma Suomela kertoi, että materiaali ei ole peräisin ydinreaktorin sisältä, mutta kylläkin läheltä neutronilähdettä. Alkuperää selvitetään. Erä on kiertänyt useilla omistajilla.

Nucleonics Week 13.8.1992

**Ruotsin** säteilyturvaviranomainen (SSI) on vaikeuksissa Virossa Ruotsiin sulatettavaksi tuodun vähäaktiivisen 20 tonnin kuparilevyromuerän kanssa. Laboratoriotutkimukset eivät paljastaneet 99,97 prosenttisen kuparin alkuperää. Todennäköinen alkuperäismaa Venäjä ei tunnusta erää omakseen. Ruotsin säännökset estävät ko. kuparinerän sulattamisen vapaaseen käyttöön. Tarvittava viivästysaika olisi noin 20 vuotta. SSI:n ydinjätejooston päällikkö Gunnar Johansson sanoo, että erän palauttaminen Tallinnaan ei ole moraalisesti hyvä ratkaisu, koska 100 000 kruunun arvoinen erä varastettaisiin satasta ensimmäisenä yönä. Levyä voitaisiin käyttää esimerkiksi kattopellitykseen. Mikäli palautukseen ryhdytään niin SSI lähettää vartijan erän mukana.

Nucleonics Week 27.8.1992

**Ruotsin** Ringhals 1 BWR 820 MW Asea-Atom-yksikön kaikkien syöttövesiputkien sisäpuolen ruostumattomasta teräksestä valmistetusta päällysteestä löydettiin 6—8 mm syviä halkeamia vuosihuollossa. Halkeamia aiotaan tarkastella reaktoripaineastian laskettavalla MINI-SESAME-sukellusrobotilla, joka on varustettu kameralla ja ultraäänimittauslaitteella. Laitosyksikkö pääsee takaisin verkkoon vasta lokakussa 1992 ainakin kuukauden myöhässä.

Nucleonics Week 27.8.1992

**Ruotsin** ydinturvallisuusviranomainen Statens Kärnkraftinspektion (SKI) on määrännyt tarkistettavaksi viiden vanhemman polven BWR-yksikön hätäjähdytysjärjestelmän pumppujen imusihien tukkeutumisvaaran onnettomuusolosuhteissa, jolloin eristevilloja saattaa huuhtoutua altaaseen, mistä hätäpumput ottavat vettä. Selvitys on ehtona vuosihuollossa olevien neljän yksikön käynnistykseen vuosihuoltojen päätyttyä. Yksiköt ovat Barsebäck 1, Oskarshamn 1 ja 2, sekä Ringhals 1. Barsebäck 2-yksiköllä tapahtui 28.6. villojen irtoamista ja em. pumppujen pysähtyminen. Nyt yksikkö pysäytetään voimayhtiön toimesta selvityksen ajaksi. Viittä yksikköä koskevan tapauksen turvallisuusluokka on 2.

IAEA INES 17.9.1992

**Ruotsin** Ringhalsin ydinvoimalaitos on joutunut Greenpeacen hampaisiin. Yhdistys pitää 3-yksikön höyrystinten uusintaa

liian kalliina, koska laitos kuitenkin poistetaan käytöstä jo vuonna 2010 maan poliittisen päätöksen nojalla. Aiheen Greenpeace oli saanut USAn 25-vuotiaan huonosti toimineen Trojan-yksikön käytöstäpoistosta höyrystinten tullessa uusimiskään. Tilanne on taloudellisesti toinen hyvin toimivan Ringhals 3-yksikön kohdalla.

Nucleonics Week 10.9.1992

**Ruotsin** käytetyn ydinpolttoaineen huololle on julkaistu (SKB) uudet suunnitelmat. Loppusijoitus 500 metrin syvyyteen aloitetaan 16 vuoden kuluttua (2008). Nykyistä Oskarshamnissa sijaitsevaa väli-varastoa (CLAB) laajennetaan ja sen yhteyteen rakennetaan käytetyn ydinpolttoaineen kapselointilaitos. Loppusijoituslaitoksen rakentaminen aloitetaan vuoden 2000 paikkeilla toistaiseksi vielä valitsemattomalle paikkakunnalle.

Ens NucNet 1.10.1992

**Saksalais-sveitsiläinen** säteilysuojeluyhdistys, Fachverband für Strahlenschutz, joka on Kansainvälisen säteilysuojeluyhdistyksen jäsenjärjestö, kehoittaa jäseniään olemaan varuillaan idästä kulkeutuvien radioaktiivisten laittomien materiaalien vuoksi. Viime kuukausina on paljastunut useita tapauksia ja lukumäärä näyttää kasvavan. Epäilyttäviin tapauksiin on puututtava jo huhuvaiheessa yleisön suojelemiseksi säteilyvahingoilta.

Ens NucNet 7.9.1992

**Sveitsin** virallinen materiaalitestaustilasto sai äskettäin tutkittavaksi kaksi grammaa radioaktiivista materiaalia neljältä puolalaismieheltä. Teollisuuden käyttämää arvokasta osmium-187 isotooppia sisältäväksi väitetty materiaali osoittautuikin korkea-aktiivista cesium-137 isotooppia sisältäväksi ja oli peräisin sädehoitolaitteesta. Rintataskussaan materiaalia useita tunteja kuljettanut puolalainen kärsi säteilytauti-oireista ja testauslaitoksen virkailija sai sormiinsa merkittävän säteilyannoksen.

Ens NucNet 3.9.1992

**Ukrainan** hallitus on käynnistänyt kansainvälisen kilpailun Tshernobylin onnettomuusreaktorin eristämiseksi ympäristöstä siten, että se ei ole uhka turvallisuudelle. Tshernobyl 4-yksikkö paketoitiin kiireessä sarkofagiin onnettomuuden jälkeen vuonna 1986. Suojaa on sen jälkeen paranneltu kestämään 30 vuotta, mutta tämän päivän käsityksen mukaan suojauskykyä riittää enää kuudeksi vuodeksi. Suoja 2-projektin kilpailuehdotukset tulee toimittaa Tshernobyl-asiain ministeriölle kuluvan vuoden loppuun mennessä.

Nucleonics Week 30.7.1992

**Ukrainan** uusi ydinturvallisuusviranomainen, Ukrainan ydin- ja säteilyturvallisuuden valtionkomitea, Derzhatomnaglyad (GANU) on allekirjoittanut kaksivuotisen

yhteistyösopimuksen Saksan (GRS) ja Ranskan (DSIN ja IPSN) ydinturvallisuusviranomaisten kanssa. Saksalaiset auttavat GANUa arvioimaan Ukrainan VVER 440- ja VVER 1000-yksikköjen turvallisuutta. Ranskalaiset taas opettavat käytönvalvontatarkastustekniikkaa, onnettomuusvalmiustekniikkaa, ydinjätehuollon valvontaa, säteilysuojelua ja tiedottamista.

Nucleonics Week 27.8.1992

**USA:n** ydinturvallisuusviranomainen (NRC) on ehdottanut Crystal River 3 PWR-yksikön käyttäjähdyttäjälle 500 000 dollarin sakkoa. Yksikköä käynnistettäessä vuosihuollon jälkeen tehon nostoa jatkettiin 10 prosentista 15 prosenttiin vaikka primääripiirin paine laski tunnistamattomasta syystä. Korkeapaineisten hätälisävesipumppujen molemmat käynnistyskettut kytkettiin lisäksi irti. Vaarallinen tilanne havaittiin lopulta ajoissa. Aikaisemmin erinomaisesti käytetyssä laitoksessa ryhdyttiin ankkariin toimenpiteisiin vastaavan tapauksen toistumisen estämiseksi.

Nucleae News kesäkuu 1992

**USA:n** Fort Calhoun 438 MW PWR Combustion Engineering-yksikön paineistimen varoventtiili juuttui aukiasentoon 3.7. tapahtuneen pikasulun jälkeen. Laitosalueella julistettiin hätätilanne varoventtiilin sulkemisyritysten epäonnistuttua ja varoventtiilin vuotaessa primääripiirin vettä suojarakennuksen pohjakäyttöön 8 m<sup>3</sup>/h. Reaktorin hätäjähdytyspumppuilla pystyttiin kuitenkin pitämään reaktori ja paineistimen vesitäytteisinä ja laitos voitiin jäähdyttää normaalisti. Hätätilannetta kesti 18 tuntia. Radioaktiivisia päästöjä ei syntynyt ja polttoaine säilyi vesianalyysin perusteella ehjänä.

IAEA INES 6.7.1992

**USA:n** Peach Bottom 3 PWR 1035 Genral Electric-yksikön käynnistysmuuntaja räjähti 4.7. aiheuttaen tulipalon ja öljyn vuotamisen maaperään. Laitosalueelle julistettiin hätätilanne 17 tunniksi. Laitos pysäytettiin automaattisesti. Räjähdysten aiheuttajaa selvitetään.

Ens NucNet 7.7.1992

**USA:n** ydinturvallisuusviranomainen (NRC) on ehdottanut helpotuksia voimayhtiöille. Ydinvoimalaitosten lopullisten turvallisuusselosteiden (FSAR) päivitysjakson pituudeksi sallittaisiin latausjakson pituus, joka on yhä useammin yli vuoden mittainen. Vuosittainen laitosmuutosraportti tulisi myös latausjaksoitaiseksi. Erikoisraportointia vaativien tapahtumien lajikirjoa pienennettäisiin 150:llä. Zirkonium hyväksyttäisiin Zirca-loyn lisäksi polttoainesauvamateriaaliksi. Aktiivisuuspäästöraportointijaksoksi ehdotetaan vuotta puolen vuoden sijaan. Sallittaisiin voimayhtiöille vähäaktiivisten muualla superkompaktoitujen jätteiden takaisinotto. Aktiivisten jätepakkausten kontaminaatiomittauksia yksinkertaistetaan.

Nuclear News elokuu 1992



**USA:n** ydinturvallisuusviranomaisen on ehdottanut sakkoja kolmelle voimayhtiölle. Palisadesin ydinvoimalaitosta käyttävän yhtiön henkilöstö esitti, että päähöyrylinjojen eristysventtiilit eivät toimi, kun oletettu höyryputkikatkos tapahtuu suojarakennuksen ulkopuolella. Voimayhtiö otti asian tarkempaan käsittelyyn vasta vuoden kuluttua aiheellisesta ilmoituksesta. Sakon suuruus oli 75 000 dollaria. Beaver Valleyn ydinvoimalaitoksen varadieselgeneraattorien uusien kuormansäätäjien asennusta ei valvottu riittävästi. Sakon suuruus oli 75 000 dollaria. Vogtle 1-yksikkö saatettiin turvallisuusteknisten käyttöehtojen vastaiseen tilaan, jotta primääripiiriä pystyttäisiin puhdistamaan. Tapaus sattui vuonna 1988, mutta voimayhtiön valituksista johtuen 100 000 dollarin sakon maksuunpano siirtyi tähän päivään.

Nuclear News elokuu 1992

**USA.** Maailman ensimmäisen hallitun ydinketjureaktion tapahtumisesta tulee kuluneeksi 50 vuotta. Pieni tiedemiesryhmä onnistui 2.12.1942 valjastamaan ydinenergian ensimmäistä kertaa. Koe tehtiin Enrico Fermion tutkimusreaktorissa Chigagossa USA:ssa. Eri maiden atomitekniset seurat ja ydinalalla työskentelevät juhlistavat tapahtumaa ympäri maailman mm. konferenssein, näyttelyin, vastaanotoin ja Ranskassa atomiviikolla.

Ens NucNet 30.9.1992

**USAssa** käydään TMI-onnettomuudesta alkanutta laajaa keskustelua kiehausvesireaktorien (BWR) pinnankorkeusmittausten luotettavuudesta. Kiehausvesireaktorien turvallisuuden kannalta on tärkeää, että operaattorit saavat luotettavaa tietoa reaktoripaineastian veden pinnasta etenkin häiriötilanteissa. USAn ydinturvallisuusviranomaisen (NRC) ilmoitti 24.6.1992, että se ei pidä selvänä, että nopeissa paineenlaskutilanteissa nykyiset pinnankorkeusmittaukset olisivat riittävät. BWR-laitosten tulee toimittaa viran-

omaiselle selvitys omista pinnankorkeusmittauksistaan 27.9.1992 mennessä. Nuclear News syyskuu 1992

**Vietnamin** kansallinen ydinenergiakomissio (Vinatom) ilmoittaa maan ydinenergiaohjelman tähtäävän siihen, että maassa on vuonna 2010 ydinenergiakapasiteettia 800—1200 MW. Vietnamilla on runsaat 180 000 tonnin luonnonuraanivarat. Ens NucNet 29.7.1992

**Valkovenäjällä** on tapahtunut säteilyonnettomuus, jossa 20 työntekijää altistui säteilylle, kertoo ITAR-TASS. Vitebskin kaupungissa sijaitsevassa valimossa vaurioitui radioaktiivista kesium 137 isotooppia sisältävä mittalaite kontaminoiden tiloja 20 neliömetrin alueelta. Tapauksesta ei ole saatu tarkempia tietoja. Ens NucNet 2.10.1992

**Venäjä** on jälleen keskeyttänyt Ukrainan käytetyn ydinpolttoaineen vastaanoton. Neuvostovalan aikana Ukraina toimitti käytetyn polttoaineen jälleenkäsiteltäväksi Krasnojarskiin Siperiaan ongelmitta. Tällä kertaa vastaanoton esteenä on se, että Ukrainan ruokatoimitukset Venäjälle ovat viivästyneet. Nuclear News kesäkuu 1992

**Venäjä** on saanut 16 tarjousta Leningradin ydinvoimalaitoksen korvaaviksi laitoksiksi. Kolme tarjousta sisälsi fossiilisia polttoaineita käyttäviä laitoksia. Tarjouksia käsittelee 20-henkinen jury, jossa on edustajia myös lännestä. Jatkoon selvisivät seuraavat ydinvoimalaitokset: VVER 1000-91, Siemens AG:n Konvoy 1300, Framatome N4 PWR 1450 MW, ABB BWR 90 ja Candu 6 PHW. Lisäselvityksiä tarvitsevia, mutta ei hylättyjä vaihtoehtoja olivat Atomenergoprojekt NP 500 turvareaktori, VVER 1000-92 ja MKER-800 (parannettu RBMK). Tarjous-

kilpailun voittajan valinnalle ei ole asetettu aikataulua. Nucleonics Week 4.6.1992

**Venäjän** atomienergiaministeri Viktor Mikhailov pyytää länsimaita käyttämään entisen Neuvostoliiton maiden uraanipalveluja. Uraanikaivoksia ja rikastamoja sijaitsee Venäjällä, Ukrainassa, Kazakstanissa ja Uzbekistanissa. Lisäksi rikastamoja on Kirgisiassa ja Tadsikistanissa. Pelkästään Venäjällä on 15 prosenttia maailman uraanivaroista ja 25 prosenttia rikastuskapasiteeteista. Ens NucNet 11.9.1992

**Venäjän** ydinturvallisuusviranomaisen Gosatomnadzor (GAN) ja atomienergiaministeriö (Minatom) ovat pyytäneet 1992 syyskuun 22. päivään mennessä tarjouksia kahden uuden ydinenergian tiedotuskeskuksen suunnittelusta ja varustamisesta. Suurelle yleisölle tarkoitettuja tiedotuskeskuksia ovat tarjoamassa ainakin Electricite de France, Espanjalainen Unesa ja British Nuclear Fuels. Ensimmäinen keskus tulee Moskovaan ja toisen sijainniksi on kaavailtu Balakovaa, missä sijaitsee kolme toimivaa VVER 1000-yksikköä ja yksi rakenteilla oleva. Kaupan arvo on noin 2,9 miljoonaa ECUa. Euroopan komissio on varannut tarkoitukseen avustuksia noin 0,9 miljoonaa ECUa. Nucleonics Week 3.9.1992

**Venäjä** suunnittelee sähkön kulutuksen rajoituksia ensi talveksi. Päivittäistä kulutusta leikattaisiin 25 %. Ydinvoimalaitokset tuottavat 11 % maan sähköstä ja 20—30 % asutuimmilla alueilla. Ydinvoimalaitokset pyritään pitämään käynnissä talvella kaikin keinoin. Nuclear News syyskuu 1992

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

## ANNOUNCEMENT FOR SHORT COURSES

on

MULTIPHASE FLOW AND HEAT TRANSFER:  
BASES, MODELLING AND APPLICATIONS IN  
A: THE NUCLEAR POWER INDUSTRY  
B: THE PROCESS INDUSTRIES  
Zurich, 22—26 March 1993

hosted by the  
Swiss Federal Institute of Technology (ETH)  
in Zurich, Switzerland.

The modular courses feature coordinated, comprehensive series of lectures by experts and are of interest to practicing engineers and to researchers who wish to obtain a condensed and critical view of present basic knowledge (Part I) and numerical techniques or information on the state of the art regarding applications in specialized industries (Parts IIA and IIB).

The courses aim at an interdisciplinary transfer of knowledge. Applications cover nuclear and chemical plant safety (with an emphasis on severe accidents), steam generators, pipelines, etc.

For further information contact  
Prof. G. Yadigaroglu, ETH-Zentrum, CH-8092 Zurich, Switzerland  
(tel.: +41-1-256.4615, fax: +41-1-262.2158).

# English abstracts

## **Radiation protection work at nuclear power plants**

*Björn Wahlström (page 4)*

Some 3000 persons work annually at Finnish nuclear power plants in such conditions that their exposure to ionizing radiation must be monitored. About half of them receive doses exceeding the recording limit. Even though the individual doses normally are low they represent together 3/4 of the annual collective radiation dose of all occupationally exposed Finnish workers. The long time average for annual collective dose is 0.8 manSv/reactor unit. Also practical radiation protection field work is described in the article.

## **The optimizing of radiation protection**

*Reijo Sundell (page 6)*

The system of radiological protection recommended by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) is based on three basic principles: the justification of practice, the optimisation of practice and limitation of individual dose and risk.

In Finland, the government issues the laws and decrees and the national Regulatory Body gives guidance on radiation protection.

A utility, with its radiation protection organisation, develops and executes a radiation protection policy, taking the regulations and recommendations into account. Practical radiation protection must take into account a number of additional factors: personnel, the shareholders, contractors, financial restraints, pressure from outside etc. Due to these factors there are differences between utilities in the practical application of radiation protection principles. The main principles and goals are common however.

The article describes the authors views on how radiation protection could be developed further, with examples from the TVO's nuclear power plant.

## **Work management in occupational dose control**

*Christer Viktorsson (page 8)*

The control of occupational doses in nuclear installations is a major challenge. There is evidence that this challenge is being met in many countries; the trend of increasing individual and collective doses to workers observed during the 1970's and early 1980's has been halted in most countries.

Nevertheless, there is no room for complacency because as plants become older there is a general tendency for doses to increase as a result of both routine operations and large scale maintenance and repair work. Furthermore, the recent ICRP Publication 60 recommending reduced dose limits for workers will further focus the attention on occupational exposure and the application of the ALARA principle.

To take stock of the situation concerning the practical results achieved by applying work management in the control of occupational doses, a subject which to date has only received limited attention the OECD Nuclear Energy Agency (NEA) organised in February 1992 the workshop "Work Management in Occupational Dose Control". The workshop was directed towards practitioners working in, or supervising, radiation protection in nuclear installations. The paper highlights some of the main conclusions reached at the workshop.

## **ICRP New proposals**

*Anneli Salo (page 10)*

Adoption of the new ICRP basic recommendations in 1990, ICRP 60, necessitated a revision of the Commission's secondary limits contained in ICRP 30. Besides the application of the basic principles of justification, optimisation and limitation of the dose or risk to individuals to what is now called practice, the Commission addressed two other issues namely the potential for exposure that is

not certain to occur and the case where exposure is actually occurring and action is needed to reduce the exposure by intervention.

The Commission has recommended that protection against potential exposures should be part of the System of Radiological Protection as applied to the control of practices but did not give the techniques to achieve this. Therefore the further development of the guidance on how to treat the potential exposures has been an important part of the post ICRP 60 work in the Committees and working parties.

Risk constraints applied to individual sequences of events have been suggested as well as criteria to exclude some very low probability sequences from considerations. The acceptable level of risk depends on whether the consideration is of justification, optimisation or individual risk.

In justifying a practice involving potential exposures there are many considerations other than radiological consequences. Therefore some low probability events may be accepted even if their consequences are severe if the benefits expected from the practice are substantial.

When optimising the safety of a particular practice there will be an aggregation of various attributes for the purpose of comparing different alternatives. In this case some sequences of events may not contribute significantly to the aggregated risk from the particular practice and thus can be ignored.

From the individuals viewpoint there are reasons for thinking that a risk of premature death to an individual of less than  $10^{-7}$  per year is not to be of concern to the individual.

The Commission recognized that there are situations in which sources, pathways and the exposed individuals are already in place when the decisions about control measures, intervention, are being considered. Examples of such situations which may call for intervention are radiation accidents and radon in houses.

One major area of work has therefore been the revision of the principles previously advocated by the Commission for intervention to protect members of the public in the event of an accident. In the light of the new basic recommendations an intervention has to be justified and optimised. Dose limits do not apply in deciding on the need for intervention, but it is almost mandatory that deterministic effects should be avoided.

Generically justified intervention levels are being proposed for the major protective actions in order to obtain some international harmonisation.

As regards radon in homes and workplaces (except mines) a generic action level of 400 Bq/m<sup>3</sup> radon gas is proposed for both homes and work places for a reference population. Only if exposures at work are above the action level workers should be treated as occupationally exposed. For checking compliance with dose limits in case of workers some dose must be associated with the radon exposure and therefore a convention is proposed that 400 Bq/m<sup>3</sup> is equivalent to about 7 mSv /year.

These three proposals (potential exposures, intervention in accidents and radon) will be presented to the Main Commission for adoption in November 1992.

#### **THE MONITORING OF NATURAL RADIATION MADE BY STUK**

*Martti Annanmäki (page 13)*

The new Finnish Radiation Act came into force in January 1, 1992. The new Act requires also natural radiation to be monitored. The competent authority, the Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety (STUK), is permitted to provide guidance on the use of radiation and other activities involving radiation.

Guides concerning natural radiation are to be issued. In these guides the limits for radon in mines and other underground excavations as well as for radon in other work places are given. The guides also deal with the radioactivity in the building materials, the use of peat ash and the radioactivity of the household water. In this field, one of the main activities of the STUK is informing the corresponding groups of people on their new obligations.

#### **Basic molecular biology in radiation-induced carcinogenesis**

*Tapio Rytömaa (page 15)*

The tumour suppressor gene p53 is "guardian of the genome". If a DNA molecule (each chromosome has one DNA molecule) is damaged by an external factor, such as ionizing radiation, the protein product of the p53 gene stops the cell's proliferative activity until the damage is repaired. If the repair fails, the p53 gene product normally triggers programmed death of the cell.

p53 gene itself is commonly damaged by radiation (or by another DNA-damaging factor). The altered gene product fails to control the integrity of the genome, and it also prevents the guardian action of the protein which is produced by the intact allele (each cell has two p53 genes). Under these circumstances any subsequent damage to DNA, induced e.g. by a chemical, is easily "fixed". Potentially critical sites for an additional DNA damage are the proto-oncogenes (when damaged, these genes are called oncogenes), which commonly act as components of the regulatory network in a cell. Permanent malfunction of the signal network may then lead to uncontrolled cell growth, resulting in a malignant clone (= cancer).

This simplified molecular model seems to be the common mechanism in many (or most) human cancers.

#### **Implementation of the Finnish Triga reactor and short lived isotopes for diagnostic and irradiation services.**

*Pekka Hiismäki (page 17)*

The spectrum of radiation diagnostic methods and irradiation services, already implemented or under development at the Finnish Triga laboratory is discussed. Most attention is devoted to the boron neutron capture therapy project, which has lead to a very encouraging assessment of this new modality at the Triga.

#### **EC Membership and Nuclear Energy Implications of Euratom Treaty**

*Mauri Riihonen (page 19)*

Euratom Treaty is excluded from the EEA Treaty. Thus, the provisions of the Euratom Treaty would be applied in Finland only upon joining the European Communities.

The Finnish legislation and practices already now meet to a large extent the norms and provisions of the Euratom Treaty but in some respects modifications of the Finnish legislation and practices would be necessary. The major influences of the Euratom Treaty would originate in the provisions concerning nuclear energy research, Euratom Supply Agency and safeguards.

