

# ATS

YDINTEKNIikka

SUOMEN  
ATOMITEKNILLINEN  
SEURA —

ATOMTEKNISKA  
SÄLLSKAPET  
I FINLAND ry



3/2009

vol. 38

## Tässä numerossa

### *Pääkirjoitus:*

Säteilyn käyttö – hyödyt ja haitat  
pyrittävä pitämään tasapainossa ..... 3

### *Editorial:*

Use of radiation – balancing  
between benefits and drawbacks ..... 4

Uutisia ..... 5

Työntekijöiden säteily-  
altistuksen seuranta ..... 6

Cosmic rays and their effect  
upon the Earth's environment ..... 10

Käytetyn polttoaineen  
loppusijoituksen biosfääriarviointi ..... 13

Situation of Nuclear New Build  
in the United Kingdom ..... 16

### Uudistunut

Ydinasiaa-verkko-oppimateriaali  
monipuolistaa säteilyopetusta ..... 20

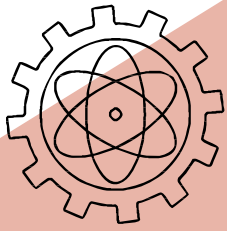
Ydinvoimalaitosten  
ympäristön säteilyvalvonta ..... 23

ATS antoi lausunnon  
periaatepäätöshakemuksista ..... 26

*Väitöskirja:* Introduktionen av  
kärnkraften i Finland ..... 28

Diplomityö ..... 30

Tapahtumakalenteri  
ja seuran uudet jäsenet ..... 31



# ATS

3/2009, vol. 38

## VUODEN 2008 TEEMAT

### 1/2009

Reaktorisydän  
ja -fysiikka

### 2/2009

Turvallisuus  
ja tutkimus

### 3/2009

Säteily

### 4/2009

Syysseminaari,  
ekskursio

## ILMOITUSHINNAT

1/1 sivua 700 €

1/2 sivua 500 €

1/4 sivua 300 €

## TOIMITUKSEN OSOITE

ATS Ydintekniikka  
c/o Riku Mattila  
Säteilyturvakeskus  
PL 14  
00881 Helsinki  
Puhelin 09 759 88680  
Telefax 09 759 88382  
toimitus@ats-ydintekniikka.fi

ISSN-0356-0473

Painotalo Miktor Oy



441 194  
Painotuote

## JULKAISIJA / PUBLISHER

Suomen Atomiteknillinen Seura –  
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

## ATS WWW

www.ats-fns.fi

## Toimitus / Editorial Staff

### Päätoimittaja / Chief Editor

DI Riku Mattila  
Säteilyturvakeskus  
paatoimittaja@ats-ydintekniikka.fi

### Toimitussihteeri / Subeditor

Minna Rahkonen  
p. 0400 508 088  
fancymedia@saunalahti.fi

### Erikoistoimittajat /

#### Members of the Editorial Staff

TKT Jarmo Ala-Heikkilä  
Teknillinen korkeakoulu  
jarmo.ala-heikkila@tkk.fi

FM Sini Gahmberg

Teollisuuden Voima Oyj  
sini.gahmberg@tvo.fi

FM Johanna Hansen

Posiva  
johanna.hansen@posiva.fi

DI Tommi Henttonen

Fortum Nuclear Services  
tommi.henttonen@fortum.com

DI Kai Salminen

Fennovoima Oy  
kai.salminen@fennovoima.fi

DI Eveliina Takasuo

VTT  
eveliina.takasuo@vtt.fi

### Haastattelutoimittaja /

#### Journalist reporter

DI Klaus Kilpi  
klaus.kilpi@welho.com

## Johtokunta / Board

### Puheenjohtaja / Chairperson

Tkt Eija-Karita Puska  
VTT  
PL 1000, 02044 VTT  
p. +358 20 722 5036  
puheenjohtaja@ats-fns.fi

### Varapuheenjohtaja /

#### Vice-chairperson

DI Yrjö Hytönen  
Säteilyturvakeskus  
yrjo.hytonen@stuk.fi

### Sihteeri /

#### Secretary of the Board

DI Malla Seppälä  
VTT  
sihteeri@ats-fns.fi

### Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Anna-Maria Länsimies  
Energiateollisuus ry  
anna-maria.lansimies@energia.fi

### Jäsenet /

#### Other Members of the Board

Tkt Jari Tuunanen  
Fortum Nuclear Services  
jari.tuunanen@fortum.com

DI Kai Salminen

Fennovoima Oy  
kai.salminen@fennovoima.fi

DI Veijo Ryhänen

Teollisuuden Voima Oyj  
veijo.ryhanen@tvo.fi

## Toimihenkilöt / Officials

### Jäsenrekisteri /

#### Membership Register

DI Malla Seppälä  
VTT  
sihteeri@ats-fns.fi

### Kv. asioiden sihteeri /

#### Secretary of International Affairs

DI Tommi Henttonen  
Fortum Nuclear Services  
tommi.henttonen@fortum.com

### Energiakanava /

#### Energy Channel

Tkt Karin Rantamäki  
VTT  
karin.rantamaki@vtt.fi

### Young Generation

DI Toivo Kivirinta  
Fortum Power and Heat Oy  
toivo.kivirinta@fortum.com

### Ekskursiosihteeri /

#### Excursion Secretary

DI Jani Pirinen  
Fortum Nuclear Services  
jani.pirinen@fortum.com

Suomen Atomiteknillisen Seuran (perustettu 1966) tarkoituksena on edistää ydintekniikan alan tuntemusta Suomessa, toimia yhdysiteenä jäsentensä kesken kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi sekä vaihtaa tietoja ja kokemuksia kansainvälisellä tasolla.

ATS Ydintekniikka on neljä kertaa vuodessa ilmestyvä lehti, jossa esitellään ydintekniikan tapahtumia, hankkeita ja ilmoittaa numeroitain vaihtuvan teeman ympäriltä. Lehti postitetaan seuran jäsenille.

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

## Säteilyn käyttö – hyödyt ja haitat pyrittävä pitämään tasapainossa

**HAASTEET SÄTEILYN** käytön turvallisuuden takaamiseksi ovat kasvaneet teknologian kehittyessä ja alan globalisoituessa. Säteilyä käyttävän henkilöstön ammattitaidon merkitys korostuu: yhteistyö ja hyvä tiedonkulku ovat avainasemassa.

**TOIMINNANHARJOITAJALLA ON** perimmäinen vastuu säteilyn käytön turvallisuudesta. On otettava huomioon työntekijöiden ja kansalaisten turvallisuus sekä muut mahdolliset seurausvaikutukset. Säteilyn käytön organisaation on oltava toimintakuntoinen ja henkilöstön osaava. On varauduttava myös onnettomuuksiin ja poikkeaviin tapahtumiin. Säteilyn käyttö on luvanvaraista toimintaa; arviointi luvan edellytyksistä tehdään luvan myöntämisen prosessin aikana. Luvan myöntää Säteilyturvakeskus.

**TERVEYDENHUOLLOSSA SÄTEILYN** käytön alalla on ollut suuria muutoksia. Laitteiden ja menetelmien kehitys on nopeaa ja ala on käyttäjilleen entistä vaativampi. Terveystieteiden huomioitava sekä henkilökunnan että potilaan turvallisuus. Säteihoidosta on ulkomaisia esimerkkejä siitä, miten jonkin osa-alueen pettäessä tulee korvaamatonta vahinkoa potilaille. Suomen tilanne on näiltä osin hyvä, koska sädehoidossa on perinteisesti ollut osaavaa hoitaja- ja fyysikkökuntaa, ja laadunvalvonnan tärkeys on ymmärretty.

**RÖNTGENKUVAUKSET TEHDÄÄN** nykyään digitaalisesti. USA:ssa terveydenhuollon säteilykäytöstä aiheutuva kansalaisen keskimääräinen säteilyaltistus on kasvanut vuoden 1980 alun noin 0,5 mSv:stä nykypäivän 3,0 mSv:n tasolle. Suomessa on pysytty toistaiseksi alle 0,5 mSv:n keskimääräisessä altistuksessa. Suuri vaikutus altistuksen kasvuun on ollut tietokonetomografiakuvausten lisääntymisellä. Terveystieteiden

denhuollon alan kansainväliset elimet, WHO eturintamassa, ovat olleet huolestuneita kehitystrendistä. Yksittäisten tutkimusten oikeutuksen arviointiin tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota, tulee luoda hyviä lähete- ja tutkimuskäytäntöjä, laitteiden optimaalisen käytön koulutukseen on panostettava ja on oltava riittävästi ammattitaitoista henkilökuntaa. Hyvien käytäntöjen luomisessa on yhteistyön paikka alan ammattikunnalle.

**TEOLLISUUDESSA ON** tällä vuosikymmenellä ollut Suomessa suuria rakenteellisia muutoksia, yrityksiä on pilkottu ja yhdistelty. Suuriakin teollisuuslaitoksia on ajettu alas. Säteilyn käytön vastuusuhteiden hallinta tässä tilanteessa on haaste. Säteilyn käyttö päättyy vasta, kun viimeinenkin säteilylähteiden turvallisesti poistettu. Vuosihuoltojen ja muutosten yhteydessä on säteilyn käytön vastuuhenkilöiden oltava mukana suunnittelussa ja toteutuksessa. Silloin vältetään turhat altistukset ja säteilylähteiden katoamiset.

**METALLIEN KIERRÄTYS** on kansainvälistä. Säteilylähteiden joutuminen kierrätysmetallin joukkoon aiheuttaa suurta taloudellista vahinkoa, mikäli säteilylähteiden etenee sulatukseen saakka. Kierrätysmetalliyriytysten ja metallien sulatusta tekevien teollisuuden pitää järjestää hyvät mittalaitteet säteilylähteiden havaitsemiseksi kierrätysmetallin joukosta ja varauduttava kuitenkin mahdolliseen onnettomuuteen säteilylähteen sulatustilanteessa.

**SELKEILLÄ VASTUIDEN** määrittelyillä, ammattitaidolla, yhteistyöllä ja tiedonkululla päästään turvallisuudessa pitkälle – asioita, jotka kuuluvat myös hyvään turvallisuuskulttuuriin. ■

## Use of radiation – balancing between benefits and drawbacks

**CHALLENGES TO** guarantee safety in the use of radiation have increased, as the technology is developing and the industry is getting more and more international. The professional skills of people utilizing radiation become increasingly important: good co-operation and flow of information play an important role.

**THE LICENSEE** has the ultimate responsibility for the safety in use of radiation. The safety of employees and civilians, as well as other potential consequences must be taken into account. The organization involved in the activities must be capable of operating and its staff must possess the necessary skills. Accidents and anomalies must be prepared for. Use of radiation is subject to license; fulfillment of the license requirements is evaluated by the Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK) during the licensing process.

**SIGNIFICANT CHANGES** have taken place concerning use of radiation in the health care. Development of equipment and methods is rapid, and the field is demanding more and more from its practitioners. Safety of the personnel – as well as the patient – must be observed. There are foreign examples of unrecoverable damage having been caused to patients as a consequence of a failure in some part of radiation therapy. The Finnish situation is good in this respect, as the level of professional skill among physicists and nurses participating in the radiation therapy has traditionally been high, and the importance of quality control has been acknowledged.

**X-RAYS ARE** taken digitally today. In the USA, the average radiation dose caused to a citizen due to use of radiation in health care has increased from around 0.5 mSv in the early 80's to around 3 mSv.

In Finland, this exposure has remained below 0.5 mSv. Widespread use of computer tomography has significantly increased the exposure. International organizations, among them the WHO, have expressed concerns about this trend. Justification of individual examinations must be assessed more carefully, good referral and examination procedures must be developed, and there must be a sufficient number of trained professionals. Introduction of good practices requires co-operation of the professionals in the field.

**BIG STRUCTURAL** changes have taken place in the Finnish industry during the last decade. Companies have split and merged. Even large industrial complexes have been terminated. Controlling the responsibilities in the use of radiation is a challenge in this business environment. The use of radiation is not terminated until the last radiation source has been safely removed. When designing and implementing modifications or maintenance, those responsible for the use of radiation must be present in order to prevent unnecessary exposure or loss of radiation sources.

**RECYCLING OF** metals is international. Radiation sources among molten scrap metal cause significant economic losses. The companies taking part in scrap metal or metal melting industry must provide good detectors in order to find the radiation sources among the scrap metal. Still, accidents must be prepared for.

**DESIRED RESULTS** will be obtained with a clear definition of responsibilities, co-operation and information exchange: all important factors in a good safety culture. ■

# UUTISIA

## Ydinenergia-aiheinen blogi avattu

**ENERGIATEOLLISUUS RY** julkisti 5.10. Ydinreaktioita.fi -blogin. Blogin päätoimittaja Anna-Maria Länsimies kertoo, että tavoitteena on luoda blogista kaikille asiasta kiinnostuneille avoin keskustelupaikka, jossa "voi esittää tyhmiä kysymyksiä, huolenaiheet otetaan tosissaan ja niihin pyritään vastaamaan älyllisesti ja rehellisesti". Länsimiehen mukaan ydinvoiman verkkokeskustelussa on totuttu ääripäiden nokitteluun, jossa omaa näkökulmaa todistetaan oikeaksi lähinnä nippelitietoutta esittelemällä, ja sivullisten on vaikea liittyä tällaiseen keskusteluun. Blogin tarkoituksena on tuoda parannusta tilanteeseen.

**BLOGIN VAKITUISET** kirjoittajat tulevat Energiateollisuus ry:stä ja sen ydinvoimatoimikunnan jäsenyhtiöistä, mutta näiden lisäksi on pyrkimyksenä saada kaksi kertaa kuussa vaihtuviksi vierailuviksi kirjoittajiksi sekä ydinvoiman kannattajia, vastustajia että koko asiaa ihmetteleviä tahoja. Perustajien toivomuksena on, että ydinreaktioita.fi tarjoaisi myös ydinvoima-alalla työskenteleville ammattilaisille keskustelufoorumia, jossa "saa ja uskaltaa ottaa kantaa alaa yleisesti koskettaviin asioihin".

*Lähde: Anna-Maria Länsimies, Energiateollisuus ry*

## Iranilla rakenteilla toinen väkeväntilaitos

**SYYSKUUN LOPUSSA** Iran ilmoitti kansainväliselle ydinenergiajärjestölle IAEA:lle, että sillä on rakenteilla toinen uraanin väkeväntilaitos jo toimivan Natanzin laitoksen lisäksi. Uusi laitos sijaitsee Teheranin eteläpuolella Qomin kaupungissa, ja sitä on tähän asti pidetty salaisena. Tämä asettaa Iranin ydinohjelman tarkoitusperät aikaisempaan kyseenalaisempaan valoon.

Uusi väkeväntilaitos on Natanzin laitoksen kaltainen. Iranilla on oikeus tuottaa väkeväntilaitos uraania energiantuotannon tarpeisiin, mutta jo Natanzin laitoksella on kansainvälisesti epäilty olevan sotilaallista merkitystä. Tästä syystä YK:n Turvallisuusneuvosto on määrännyt Natanzin laitoksen käyttökieltoon, mitä Iran ei ole kuitenkaan noudattanut.

Qomin laitoksen paljastamisen jälkeen Iranin odotetaan päästävän IAEA:n tarkastajat tarkastuskäynnille. Tästä sovittiin Iranin ja ulkovaltojen kesken Genevessä pian paljastuksen jälkeen. IAEA:n pääjohtaja Mohammed ElBaradei matkusti lokakuun alussa Iraniin selvittämään maan ydinohjelmaa sekä sopimaan tarkastuskäynneistä, jotka on tarkoitus käynnistää jo lokakuussa. Myös muuten Qomin väkeväntilaitoksen paljastuminen näyttää avanneen lukossa olleet keskustelut Iranin ja ulkomaailman välillä.

*Lähteet: STT, AFP, Reuters, WNN*

## www.ats-fns.fi

## Oskarshamn 3 sai käynnistyslupan korotetulle teholle

**RUOTSIN SÄTEILYTURVAVIRANOMAINEN** antoi 29.9.2009 luvan käynnistää Oskarshamn 3 -laitosyksikkö mittavien modernisointitöiden jälkeen. Modernisoinnin yhteydessä laitoksen sähköteho kasvoi 1200 MW:sta 1450 MW:iin, mikä tekee Oskarshamn 3:sta teholtaan maailman suurimman BWR-laitosyksikön.

Modernisointitöiden tavoitteena oli paitsi tehon nostaminen, myös laitoksen käyttöiän pidentäminen 60 vuoteen sekä käytettävyyden parantaminen niin, että se pysyisi jatkossa 94 %:n yläpuolella.

Modernisointiprojektissa uusittiin mm. höyryturpiinit (1 korkeapaine- ja 3 matalapaineturpiinia), generaattori, höyrynerotin ja höyrynkuvain. Lisäksi on mm. uusittu pumppuja laitoksen jäähdytysjärjestelmien reaktori-, väli- ja merivesipiireissä.

Laitos arvioidaan saatavan käynnistettyä ja tahdistettua valtakunnan verkkoon 12.10.2009.

*Lähde: Oskarshamns Kraftgrupp, <http://www.okg.se/>*

# Työntekijöiden säteilyaltistuksen seuranta



*Näkymätön, hajuton, mauton – kaikin tavoin siis ihmisen aistein havaitsemattomissa. Näin voidaan kuvailla säteilyä. Mistä sitten tietää missä ja milloin säteilee?*

**O**n olemassa useita työpaikkoja ja tehtäviä, missä työntekijät voivat altistua ionisoivalle säteilylle. Toimialoja, joissa säteilyä hyödynnetään ja säteilylle altistavaa työtä tehdään, ovat ydinenergian käyttö sekä säteilyn käyttö teollisuudessa, terveydenhuollossa ja eläinlääkinnässä. Lisäksi tutkimustyötä, johon liittyy säteilyn käyttöä, tehdään kaikilla edellä mainituilla aloilla.

Myös luonnonsäteily aiheuttaa toisinaan työntekijöille verrattain suurta säteilyaltistusta. Tällöin säteily ei kuitenkaan ole hyötykäytössä.

## Säteilylle altistavassa työssä altistuksen määrä on selvitettävä

Kun tehdään työtä, jossa on mahdollista altistua säteilylle, on säteilyaltistuksen määrä selvitettävä. Työolosuhteet on tehtävä säteilyaltistuksen kannalta niin turvalisiksi kuin mahdollista, minkä jälkeen seurataan säteilyaltistuksen määrää. Säteilyaltistuksen seuranta ei vähennä altistusta, mutta tekee työskentelystä siinä mielessä turvallisempaa, että asioihin pystytään reagoimaan mahdollisimman varhais-

sa vaiheessa. Mitä riskialttiimmasta työstä on kyse, sitä tarkemmin säteilyaltistusta on seurattava. Riskialttiissa työssä on toisinaan tarvetta käyttää useita eri seuranta-menettelyitä, jotta kaikki säteilyaltistuksen seurannan tavoitteet toteutuvat.

## Miten ja milloin säteilyaltistusta on seurattava?

Säteilyaltistuksen seuranta voidaan jakaa kahteen osaan: työolojen tarkkailuun ja annostarkkailuun. Työolojen tarkkailua on tehtävä kaikilla työpaikoilla, joissa työntekijä voi altistua säteilylle enemmän kuin

väestön annosrajojen verran. Annostarkkailu taas on järjestettävä työn luonteesta riippuen tarvittaessa.

Työolojen tarkkailussa seurataan sellaisia työoloihin liittyviä asioita, joilla voi olla vaikutusta työntekijän säteilyaltistukseen. Esimerkiksi turvalaitteiden toimintaa, laitteiden kuntoa, annosnopeutta ja mahdollista kontaminaatiota on seurattava. Työolojen tarkkailuun liittyvistä mittaustuloksista on pidettävä kirjaa, jotta myös pitkällä aikavälillä tapahtuvat muutokset voidaan havaita.

## Annostarkkailulla seurataan kertyvää annosta

Annostarkkailulla tarkoitetaan työntekijän oman henkilökohtaisen annosmittarin säännöllistä käyttöä ja mitattavan annoksen seuraamista. Annostarkkailu on järjestettävä kaikille säteilytyöluokkaan A kuuluville työntekijöille. Monesti myös säteilytyöluokkaan B kuuluvilla työntekijöillä on tarkoituksenmukaista järjestää annostarkkailu. Säteilytyötä tekevät työntekijät jaetaan eri säteilytyöluokkiin työn luonteen mukaisesti huomioiden todennäköinen säteilyaltistuksen määrä sekä mahdollisten onnettomuusilanteiden todennäköisyys.

Annostarkkailua on monenlaista: rutiininomainen, työnaikainen ja erityistilanteiden annostarkkailu. Rutiininomaisen annostarkkailun avulla varmistetaan, että kaikki on sujunut ennalta tehtyjen suunnitelmien mukaan. Poikkeavissa tapahtumissa tuloksia voidaan käyttää tilanteen selvityksessä ja vakavuuden arvioinnissa. Työnaikaiseen annostarkkailuun käytettävät mittarit ovat tyyppisesti annosta reaaliajassa näyttäviä, hälytystoiminnolla varustettuja mittareita. Niiden tarkkuus ja luotettavuus eivät välttämättä riitä varsinaiseen annostarkkailuun ja niitä käytetäänkin lisämittareina varsinaisen mittarin rinnalla, kun tehdään työtä, jossa annosnopeus voi yllättäen kasvaa suureksi. Jos joudutaan työskentelemään olosuhteissa, joita ei kovin hyvin tunneta, voi olla tarpeen järjestää erityistilanteeseen soveltuva annostarkkailu. Tällöin annostarkkailu on järjestettävä huolel-

lisen harkinnan mukaan mahdollisimman hyvin soveltuvalta tavalla.

## Mitä hyötyä säteilyaltistuksen seurannasta on?

Säteilyaltistuksen seurannan tarkoituksena on seurata työolosuhteita ja säteilytyöntekijöille työssä aiheutunutta altistusta. Samalla pyritään ennakoimaan ja estämään tilanteet, joissa altistuminen säteilylle olisi kohtuutonta. Säteilyaltistusta seuraamalla pyritään myös havaitsemaan työskentelevät, jotka eivät ole riittävän turvallisia ja etsimään vaihtoehtoja käytössä oleville menettelyille.

Säteilyaltistuksen seurannan avulla toiminnan harjoittaja varmistaa, että työskentelyolosuhteet on järjestetty sellaisiksi, joissa työntekijät voivat tehdä työtään turvallisesti. Toiminnan harjoittajan on altistuksen seurannan tulosten perusteella mahdollista puuttua asiaan riittävän ajoissa, jos jokin näyttää olevan pielessä sekä huolehtia ALARA-periaatteen noudattamisesta. Työolosuhteiden seuraaminen ja varhainen puuttuminen asioihin yleensä estää annosrajojen ylittymisen. Yleensä käytännön asioista huolehtii toiminnan harjoittajan puolesta säteilyn käytön turvallisuudesta vastaava johtaja, joka on saanut säteilyturvallisuusasioissa asianmukaisen koulutuksen ja pystyy arvioimaan tilannetta myös säteilyturvallisuuden kannalta.

## Omilla työtavoilla on vaikutusta

Työntekijä voi säteilyaltistuksen seurannan tulosten perusteella seurata, että työnteko

todella on turvallista, omat työtavat kunossa ja säteilysuojelusta huolehdittu asianmukaisesti. Työntekijä voi omilla työtaivoillaan myös itse vaikuttaa omaan altistumiseensa ja valita turvalliset työtavat. Kun säteilyannokset pysyvät pieninä, voi työntekijä luottaa siihen, että työstä säteilyn vuoksi aiheutuvat terveyshaitat ovat hyvin epätodennäköisiä.

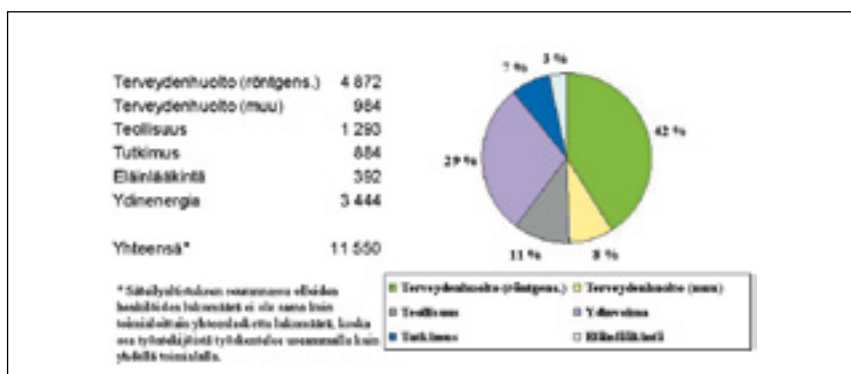
Valvova viranomainen taas voi käyttää säteilyaltistuksen seurannan tuloksia apuna muun muassa riskiarvioinnissa ja kohdistuessaan valvontaa oikeisiin asioihin.

Altistustietoja voidaan käyttää myös tutkimusmielessä, jolloin on mahdollista saada lisätietoa säteilyn vaikutuksista ja pystytään tekemään harkintaa siitä, mitä toimintoja olisi hyvä pyrkiä korvaamaan muilla menetelmillä.

## Säteilyaltistuksen seurannan tulosten säilyttäminen ja käyttö

Jotta tiedot olisivat käytettävissä, myös niiden tallentamisesta ja säilyttämisestä on huolehdittava asianmukaisesti. Pääsääntö on, että tietoja säilytetään niin kauan kuin niitä voidaan hyödyntää. Lisäksi joillekin tiedoille on laissa määritelty minimisäilytysaika.

Työolojen tarkkailutiedot ovat yleensä ainoastaan toiminnan harjoittajalla, joka huolehtii niiden säilyttämisestä, mutta viranomainen voi tarvittaessa pyytää tietoja nähtäväksi. Myös annostarkkailun tulokset ovat toiminnan harjoittajalla, mutta lisäksi ne tallennetaan Säteilyturvakeskuksen



Säteilyaltistuksen seurannassa olleet, säteilyn käytön ja ydinvoiman alalla työskentelevät työntekijät vuonna 2008.



*Elektronisia mittareita käytössä työolojen tarkkailussa / tarkastuksessa. Ks. myös kuva sivulla 9.*

pitämään rekisteriin, jossa niitä säilytetään vuosikymmeniä.

Säteilytyöluokkaan A kuuluvat henkilöt, jotka pääsääntöisesti tekevät runsaasti säteilylle altistavaa työtä, käyvät säännöllisesti terveystarkastuksissa. Tätä varten toiminnan harjoittajan on toimitettava myös terveystarkkailusta huolehtivalle lääkärille annostarkkailun tiedot, joita sitten säilytetään terveystietojen yhteydessä.

### Säteilyaltistuksen seuranta on yhteistyötä

Säteilyaltistuksen seuranta vaatii yhteistyötä ja jokaisen on tunnettava vastuunsa ja huolehdittava omasta osuudestaan, jotta kaikki toimisi moitteettomasti. Vastuuta riittää niin säteilytoiminnan harjoit-

tajalle kuin itse työntekijällekin. Lisäksi viranomaiset valvovat asiaa omalta osaltaan. Annostarkkailumittaukset toiminnan harjoittaja teettää yleensä hyväksytyllä annostauspalvelulla, jonka kanssa kommunikaation on sujuuttava.

Jotta säteilyaltistuksen seurannasta olisi hyötyä, on sitä tehtävä säännöllisesti ja oikea-aikaisesti. Tarvittavat mittaukset on tehtävä kunnolla ja tarkoituksenmukaisilla menetelmillä. Työntekijän velvollisuuksiin kuuluu käyttää ja säilyttää hänelle käytöön annettua mittaria saamiensa ohjeiden mukaisesti.

Pahimmassa tapauksessa mittauksia ja muuta työtä säteilyaltistuksen seuraamiseksi tehdään, mutta tuloksia ei hyödynnetä millään tavalla. Tällöin koko asia aihe-

uttaa pelkkää työtä ja turhia kuluja. Altistuksen seurannan tuloksia on myös syytä säännöllisesti arvioida ja mieltä voidaan toimintoja parantaa.

### Tarkoitukseen sopiva menetelmä antaa oikean ja käyttökelpoisen tuloksen

Työolojen tarkkailuun käytettävien mittausten osalta on varmistuttava, että niillä voidaan mitata haluttua suuretta riittävän tarkasti ja mittaria voidaan käyttää työskentelyolosuhteissa. Annostarkkailun täytyy perustua Säteilyturvakeskuksen hyväksymän annostauspalvelun tekemisiin mittauksiin. Mittauspalvelulla on oltava riittävästi asiantuntemusta, kalibroidut laitteistot ja mittarit sekä laatujärjestelmä, joka varmistaa mittaustulosten oikeellisuuden.

Joskus työskentelyolosuhteet ovat sellaiset, että ei ole tarpeen eikä aina mahdollistakaan mitata jokaisen työntekijän annosta erikseen. Tällainen tilanne on esimerkiksi lentotyötä tekevien henkilöiden kohdalla. Kosmisen säteilyn aiheuttama annos on kuitenkin mahdollista määrittää laskennallisesti, joten tätä menetelmää käytetään lentohenkilöstölle kosmisesta säteilystä aiheutuvan altistuksen määrittämiseen.

Yleensä annostarkkailusta puhuttaessa tarkoitetaan nimenomaan ulkoisen säteilyn mittaamista. Toisinaan on tarpeen määrittää myös sisäisestä säteilystä aiheutuva annos. Tällainen on tilanne esimerkiksi silloin, kun radioaktiivista ainetta joutuu kehoon hengityksen kautta. Tällöin mitataan jälkikäteen työntekijän kehoon joutuneiden radioaktiivisten aineiden aktiivisuus ja aiheutunut annos määritetään sen perusteella.

### Eri toimialoilla eri haasteet, tavoitteet ja menetelmät

Säteilyaltistusta aiheuttavat lähteet ja niiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan ja aiheuttavat erilaisia säteilysuojellisia haasteita. Muun muassa avolähteet, umpilähteet ja sähkön avulla synnyttävä säteily esim. röntgenlaitteissa vaativat kaikki



omanlaisensa lähestymistavan turvallisuuden varmistamisessa.

Röntgenlaitteita käytettäessä työolojen tarkkailu on yleensä hieman yksinkertaisempaa kuin radioaktiivisia aineita avotai umpilähteinä käsiteltäessä siitä syystä, että säteilyä syntyy ainoastaan silloin, kun sitä aktiivisesti tuotetaan sähkövirran avulla. Radioaktiivisia aineita sisältävät avo- ja umpilähteet taas säteilevät koko ajan. Tämän vuoksi niiden säilyttämisestä on huolehdittava ja kontaminaation leviäminen on estettävä mahdollisimman tehokkaasti, mikä vaatii työolojen tarkkailulta huomattavasti enemmän.

Annostarkkailumenetelmät riippuvat käytettävästä säteilylähteestä. Yleensä määritetään työntekijän efektiivinen annos muun muassa siitä syystä, että säteilyasetuksessa annosrajat on annettu nimenomaan efektiiviselle annokselle. Toisinaan, esimerkiksi avolähteitä käytettäessä, keho altistuu säteilylle epätasaisesti. Tällöin voi olla tarpeen mitata esimerkiksi käsille paikallisesti aiheutuvaa annosta. Säteilyasetuksessa on tällaisia tapauksia varten annettu erikseen annosraja myös yksittäiselle kehon osalle, kuten käsille ja silmän linssille.

Myös säteilyltä suojautumisen mahdollisuudet vaihtelevat. Esimerkiksi terveydenhuollossa käytettävä röntgensäteily on niin matalaenergistä, että siltä voidaan suojautua lyijykumiesiliinää ja muita henkilösuojaimia käyttämällä. Tällöin efektiivisen annoksen määrittäminen on huomattavasti



tavasti hankalampaa kuin korkeaan energiasta säteilyä ollessa kyseessä. Annosarvioita voidaan kuitenkin myös tällöin tehdä. Tällaisessa tilanteessa suojaamattomiksi jäävät kehon osat voivat altistua säteilylle huomattavasti, joten niiden altistumisen tarkkailu on harkittava erikseen. Esimerkiksi röntgensäteilylle altistavia toimenpiteitä tekevä lääkäriin silmän linssin annos voi olla hyvinkin korkea, vaikka efektiivinen annos jää pieneksi.

## Tulevaisuuden haasteet

Elämme parhaillaan kiivaan kansainvälistymisen aikakautta. Kansainvälistymisen myötä työntekijät liikkuvat entistä enemmän maasta toiseen ja tekevät myös säteilytyötä eri maissa. Koska työntekijän turvallisuuden kannalta on tärkeää tietää ko-

konaisaltistus, aiheuttaa tämä uusia haasteita, joihin on vastattava.

Kaikissa EU-maissa säteilyaltistuksen seurannan periaatteet ovat samat, mutta toteutuksessa on eroja kunkin maan omasta lainsäädännöstä riippuen. Eri maiden käytäntöjen yhteensovittaminen on haastavaa, kun toimintatavat voivat poiketa toisistaan. Tästä selviytyminen vaatii toisinaan kärsivällisyyttä ja käytössä olevien menetelmien soveltamista.

Myös tietoliikenneyhteyksien ja ohjelmistojen nopea kehittyminen aiheuttaa omat haasteensa etenkin, kun puhutaan pitkään säilytettävistä tiedoista. Säilytettävät tietomäärät ovat lisääntyneet valtavasti viime vuosina, ja sama trendi näyttää jatkuvan. Suuren tietomäärän hallinnointi vaatii tarkkuutta ja loppuun asti harkittuja tiedonsäilytysmenetelmiä, jotta kaikki tarvittava tieto olisi myös tulevaisuudessa käytettävissä. Lisäksi tietoliikenteen kehittyminen on haaste tietojen turvallisen käsittelyn vuoksi. Erityisesti tämä tulee näkyviin edellä mainitun kansainvälistymisen myötä, kun henkilötietoja olisi tarpeen toimittaa nopeasti ja turvallisesti myös maan rajojen ulkopuolelle.

Näihin haasteisiin vastaaminen on ajankohtaista juuri nyt.

**SUOMESSA ON** yhteensä kolme hyväksyttyä annosmittauspalvelua: Loviisan ja Olkiluodon ydinvoimalaitoksilla on kummallakin omat mittauspalvelunsa ja lisäksi Suomessa toimii yksi kaupallinen annosmittauspalvelu Doseco Oy, joka toimii myös Olkiluodon ydinvoimalaitoksen alihankkijana.

**KAIKKI SUOMESSA** tällä hetkellä annostarkkailuun hyväksytyt mittausmenetelmät perustuvat termoloisteannosmittarin (TLD) käyttöön.

**SÄTEILYTURVAKESKUKSEN PITÄMÄÄN** annosrekisteriin kirjataan vuosittain noin 11 500 henkilökohtaista annosmittaria käyttävän säteilytyöntekijän annostietoja. Lisäksi rekisteriin kirjataan noin 3 500 lentotyötä tekevä henkilön laskennallisesti määritettyjä annostietoja..

Maaret Lehtinen  
Ylitarkastaja  
Säteilyn käytön turvallisuus  
STUK  
maaret.lehtinen@stuk.fi



# Cosmic rays and their effect upon the Earth's environment

*Every second the Earth is attacked by zillions of tiny intruders, coming from the deep space. We call them cosmic rays. Although we are quite effectively protected by the Earth's magnetic field and atmosphere, many of them still can reach the ground, particularly in high latitude regions. Is it dangerous? Do they harm the Earth's environment and human beings? Do we need to know more about them or is it of primary academic interest? In this review we give a brief introduction into cosmic rays and their terrestrial effect.*

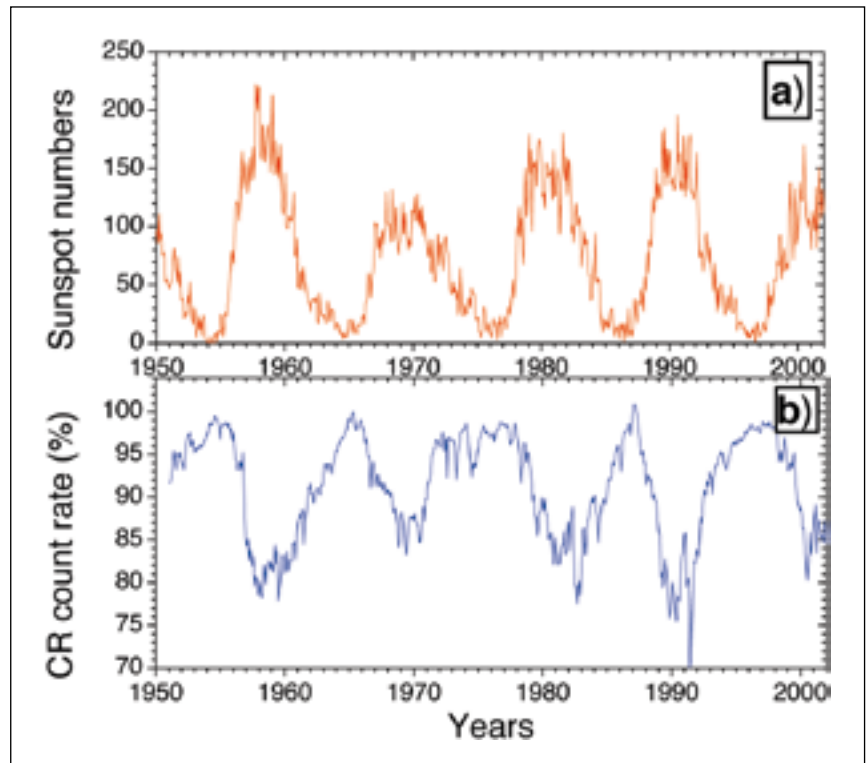


Figure 1. Solar cycle variations of sunspot numbers (Panel a) and cosmic-ray flux (Panel b) measured as the count rate of Climax neutron monitor (100% corresponds to May 1965).

Cosmic rays are energetic charged particles, mostly stripped atom nuclei ranging from a single proton (hydrogen's nucleus, composing about 90% of cosmic rays) up to heavy nuclei, which are quite rare. The number density of cosmic rays is very low – 1 particle in about 10,000 m<sup>3</sup> of space. The flux of cosmic rays near the Earth is about 1 particle per cm<sup>2</sup> per second.

## What is the origin of cosmic rays?

Cosmic rays are very energetic, relativistic, with kinetic energy up to 10<sup>20</sup> eV (or tens of Joules), although particles with these highest energies are very rare – coming on average once per year and km<sup>2</sup>. Ac-

cording to the modern theory, cosmic rays cannot be more energetic than 10<sup>19</sup>-10<sup>20</sup> eV, because of the interaction with the background microwave radiation – the so-called GZK (Greisen-Zatsepin-Kuzmin) cut-off. The most effective energy range for terrestrial environment is about a few GeV (10<sup>9</sup> eV).

Cosmic rays can be of different origin. It is common to separate galactic cosmic rays (GCR), which are produced in energetic objects of our galaxy (e.g. supernovas) up to the energy of about 10<sup>15</sup>-10<sup>16</sup> eV or even from extra-galactic sources. Other types of cosmic rays are solar cosmic rays (SCR) which are accelerated by energetic processes in the Sun and solar corona, and anomalous cosmic rays (ACR) which

are accelerated by the heliospheric termination shock.

Most important are GCRs, which are always present near the Earth. Solar cosmic rays are less energetic and occur sporadically. They exist only in association with explosive energy releases in the Sun such as flares and coronal mass ejections. Anomalous cosmic rays lack energy in order to affect the Earth's atmosphere.

## Measuring intensity variations

Intensity of GCR is routinely recorded since the 1950s by a worldwide network of standard ground based neutron monitors. A typical neutron monitor of the network is located in Oulu in Finland <http://cosmicrays oulu.fi>.

The energy spectrum of GCR is descending as nearly a power law in energy, with a spectral index of  $\sim 2.7$ . The lower energy part (below a few tens of GeV) of the spectrum suffers from solar cycle modulation within the heliosphere, so that the GCR flux is lower at solar maximum and higher at solar minimum. Solar cycle modulation of the differential flux of GCR varies from a few percent for 100 GeV particles up to orders of magnitude for 100 MeV particles.

The 11-year solar cycle modulation of GCR is illustrated in Figure 1, which depicts variations of sunspot numbers and cosmic ray flux as measured by a ground-based neutron monitor. This leads subsequently to the solar modulation of the cosmic ray-induced terrestrial effect.

In addition to the temporal variability, caused by solar modulation, the flux of cosmic rays impinging on Earth is spatially inhomogeneous. This is due to the shielding effect of the dipole (in the first approximation) magnetic field of the Earth, which deflects charged particles, so that they must possess high enough energy to penetrate through the magnetic field. Because of the geomagnetic shielding, the flux of cosmic rays is high at geomagnetic poles and low at equatorial regions.

### Cosmic rays in the atmosphere

Despite the high energy of individual particles, the net energy input of cosmic rays into the terrestrial system is negligible (about  $10^{-5}$  W/m<sup>2</sup>) in comparison with the solar irradiance (hundreds of W/m<sup>2</sup>). However, as described below, cosmic rays do induce important changes in the atmosphere.

The magnetic field of the Earth provides additional shielding against charged cosmic ray particles. Because of its dipole nature, the shielding is strongest over the equatorial region and absent near geomagnetic poles. The shielding is often quantified in the so-called geomagnetic cutoff rigidity  $R_c$ , which is the minimum rigidity (i.e., momentum over charge) a cosmic ray particle must possess in order to reach the atmosphere at a given location.

The range of geomagnetic cutoffs is from 0 at poles up to 15-17 GV at the equator.

When a cosmic ray particle impinges upon the Earth's atmosphere, it moves in rarefied gas of the atmosphere, ionizing it along the way. Losing energy in this process, the particle gradually decelerates. Particles with low energy (ACR, SCR) can be completely stopped in the upper atmosphere due to these ionization losses.

If a cosmic ray particle possesses enough energy (above several hundred MeV), it can traverse sufficient amount of matter (about 100 g/cm<sup>2</sup>) and sooner or later collide with a nucleus of the ambient matter, producing a number of secondaries including hadronic, electromagnetic and muon components. These secondaries also ionize ambient air and, in turn, may suffer further nuclear collisions, leading to development of a full cascade in the atmosphere.

This cascade development process has two important consequences. One is the production of small trace amounts of isotopes, called cosmogenic, which otherwise are not expected to exist in the atmosphere. These are, for example, radiocarbon <sup>14</sup>C and radioactive isotopes of beryllium (<sup>10</sup>Be and <sup>7</sup>Be). The amount of them is negligible for the atmospheric chemistry, but by using modern techniques including acceleration mass spectrometry, they can be precisely measured. Since cosmic rays form the only natural source of such isotopes, it provides unique information on the solar activity variations in the past. Radiocarbon <sup>14</sup>C is used as the principal dating method of archeological samples.

### Ionization of the atmosphere

Another important result of the atmospheric cascade is permanent weak ionization of the atmosphere, from a few ion pairs produced per cm<sup>3</sup> per second near ground up to hundreds of ions in the stratosphere. Cosmic rays form the principal source of the atmospheric ionization between the altitudes of 1-2 km and 25-30 km.

Natural radioactivity of soil can be an additional source of ionization near the

surface, while solar electromagnetic radiation and magnetospheric particles dominate the ionization in the upper atmosphere. A profile of the cosmic ray induced ionization rate is shown in Figure 2.

One can see that the maximum ionization occurs at the altitude of 15-20 km in the polar region. The ionization rate decreases towards lower latitudes, because of the geomagnetic shielding, and also towards lower altitude because of the fading of the atmospheric cascade. Due to the solar 11-year modulation of galactic cosmic rays, the atmospheric ionization also varies in a cyclic manner.

It is exactly the cosmic ray induced ionization which led Victor Hess to earn his Nobel prize by the discovery of cosmic rays in 1912. Ascending a balloon he noticed that the atmospheric electricity increases with altitude, pointing out to an extra-terrestrial source of ionizing radiation. The solar origin was excluded by the fact that the ionization exists also during the night. This flagged the start of cosmic ray research.

### Terrestrial impacts of cosmic rays

What is the meaning of cosmic rays for us? There are indications that the induced atmospheric ionization can slightly affect the cloud formation and atmospheric optical properties. Yet, the exact mechanism of such a relation is not clearly understood.

One possibility is that the cosmic ray induced ionization can facilitate growth of cloud condensation nuclei in the troposphere, especially in the presence of aerosols. Another possible way is that enhanced ionization results, via the increased air conductivity, in a stronger electric current between the ground and ionosphere, leading to electroscavenging of near-cloud aerosols and increasing the cloud's optical thickness.

In either way, atmospheric ionization may provide an important indirect link between solar activity and the Earth's climate. Clouds play an important role in the radiation budget of the atmosphere by



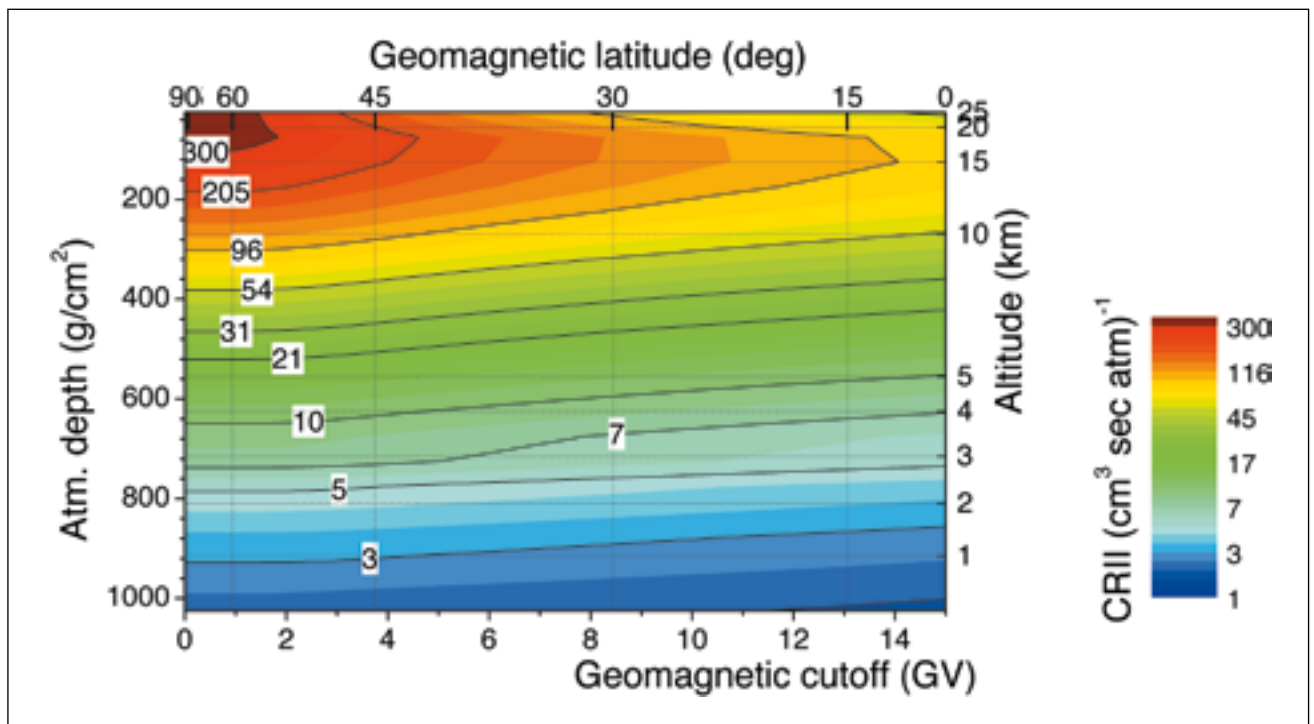


Figure 2. Modelled atmospheric ionization rate (CR11 - Cosmic Ray Induced Ionization) as a function of the barometric pressure  $p$  (or altitude - right axis) and geomagnetic cutoff rigidity  $R_c$  (or geomagnetic latitude - upper axis) for medium cosmic ray modulation.

both trapping outgoing long wave radiation and reflecting incoming solar radiation. This affects the amount of the solar radiation absorbed by the Earth, and therefore climate, even without invoking notable changes in the solar emitted irradiance. Such an indirect link can provide an amplified effect of cosmic rays on climate.

### Hazards for aircraft and spacecraft

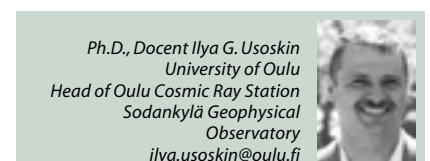
Cosmic rays may be quite hazardous outside our natural shields – atmosphere and magnetosphere. Low energy cosmic rays are numerous and are capable of destroying electronics by causing static discharges, false signals, shortcuts etc. in integrated circuits.

This effect is known to result in faster degradation and even failure of spacecraft and aircraft onboard electronics. The author of this article has personally experienced such an effect when the memory of his brand new laptop failed onboard a transpolar jet at the cruising altitude of 11 km above the geomagnetic pole.

Solar energetic particle events form a serious hazard for astronauts, when the flux of lower energy cosmic rays can be increased by several orders of magnitude for the duration of several hours or even days. Although the energy of such SCRs is too small (tens or hundreds of MeV) to pass through the atmosphere, they can cause severe radiation damage for human beings in space.

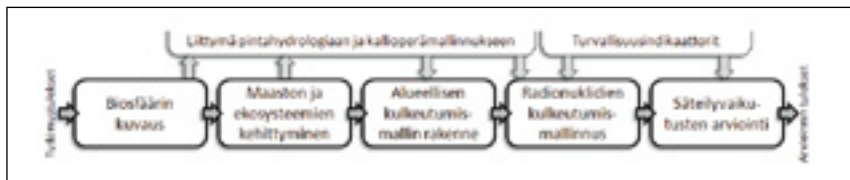
For example, during strong solar energetic particle events, astronauts have to seek protection in a special shelter onboard the International Space Station. The radiation hazard makes a serious problem for future manned space projects such as a manned mission to Mars or a station on the Moon.

Thus, cosmic rays are not only an object of pure academic study but they also affect our environment and even everyday life, which is more and more dependent on the space-based tools, such as navigation and communication systems.



# Säteilylle altistuminen seuraavien 10 000 vuoden aikana Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen biosfääriarviointi

*Biosfääriarvioinnissa tarkastelun kohteena on loppusijoituksen vaikutus muuttuvaan ekosysteemiin – toisin sanoen kaikkeen maan ja taivaan väliltä, nämä mukaan lukien – kymmenen vuosituhannen ajanjaksolla. Tässä artikkelissa esitetään lyhyt yhteenveto siitä, mitä tämä arviointi käytetyn polttoaineen tapauksessa sisältää.*



Posivan biosfääriarviointiprosessi.

**Y**dinjätteet poikkeavat mahdollisista ympäristövaikutuksiltaan muista ydinenergian tuotannon vaiheista. Erityisesti käytetty polttoaine sisältää paljon radioaktiivisia aineita, jotka säilyvät vaarallisina satoja, tuhansia ja jopa miljoonia vuosia. Näiden aineiden turvallisella loppusijoituksella varmistetaan, että säteily- ja muut ympäristöterveyden riskit pysyvät erittäin pieninä kauas tulevaisuuteen – että tulevilla ihmisten sukupolvilla, kasveilla ja eläimillä on näiltä osin mahdollisuus puhtaaseen elinympäristöön.

## Tavoitteena kokonaisanalyysi

Ympäristöterveyteen liittyvää osaa turvallisuusanalyysistä kutsutaan biosfääriarvioinniksi erotuksena itse jätteen, teknisten päästöesteiden ja kallioperän tarkastelusta. Perinteisesti nämä analyysit on tehty paljolti erillisinä, mutta Posivan nykyisessä turvallisuusperustelusuunnitelmassa lähtökohtana on eri osien integroiminen yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

Biosfäärillä näissä yhteyksissä tarkoitetaan sitä osaa loppusijoitusjärjestelmäs-

tä, jossa mahdolliset ympäristöterveyteen liittyvät vaikutukset realisoituvat: ihmisten, kasvien ja eläinten elinpiiriä. Tähän kohdistuvaa tutkimusta on Suomessa parina viime vuosikymmenenä osin aiheellisesti väheksytty. Jos loppusijoitus toteutetaan turvallisesti, eivät päästötkään ole edes huonoimmista tapauksista kovin merkittäviä – ja vain turvallinen loppusijoitusratkaisu on mahdollinen toteuttaa.

Turvallisuuden mittareina kuitenkin käytetään ihmisille ja muille eliöille aiheutuvia säteilyaltistuksia, minkä vuoksi tarkastelu on joka tapauksessa tehtävä riittävän yksityiskohtaisella tasolla tasapainossa muun turvallisuusperustelun (safety case) kanssa. Toisaalta eteneminen periaatepäätöksen jälkeen maanalaisen tutkimustilan rakentamiseen on konkretisoitunut selvästi tärkeämmän tarpeen tuntee ekosysteemin käyttäytymistä.

Loppusijoituksen turvallisuuden kannalta keskeistä on osoittaa pohjavesiolosuhteiden olevan suotuisat kapselin eheyden säilymiselle. Auki oleva tunnelisto tyhjentää kallioperästä muinaista vettä, joka vähi-

tellen korvautuu nykypäivän sade- tai merivedellä, jonka koostumukseen ja kallioperään pääsevään määrään ekosysteemillä on suuri vaikutus. Tässä artikkelissa tarkastellaan kuitenkin vain turvallisuusanalyysin loppupäätä ja pois on rajattu esimerkiksi tarpeellisten biosfäärimallien rakentaminen ja lähtötietojen hankkiminen moninaisten ympäristötutkimusten avulla.

## Biosfääriarvioinnin keskeiset kysymykset

Biosfääriarvioinnin lähtökohta on loppusijoituspaikka ja sen piirteet. Nämä on kuitenkin otettava huomioon turvallisuusperustelun yhteydessä. Olkiluodon tapauksessa tämä näkyy ensisijaisesti maankoohamisen vaikutuksissa.

Ennen kuin mahdollisten päästöjen kulkeutumista ja vaikutusta biosfäärissä voidaan arvioida, on selvitettävä, millaiseen ekosysteemiin ne aikanaan päätyvät. Vaikka päästö loppusijoituskapselista tapahtuisi pian loppusijoitustunnelin sulkemisen jälkeen, on sen kuljettava bentoniittipuskurin ja kallioperän läpi ennen pääty-

mistä biosfääriin. Useimmat aineet kokevat matkalla pidättymistä, eivätkä pidättymättömätäkään (paitsi kaasut) voi kulkea nopeammin kuin pohjavesi.

Loppusijoitustilojen sijoittelulla pyritään välttämään nopeita pohjavesiyhteyksiä maanpinnalle, joten päästöt viipyvät matkallaan vähintään useita kymmeniä, satoja vuosia. Lisäksi joka tapauksessa jo ennen kuin kapselit on loppusijoitettu seuraavien noin sadan vuoden aikana, maankohoaminen, ilmastonmuutos ja maankäytön muutokset ovat muokanneet biosfääriä melkoisesti.

Toinen merkittävä kysymys on luonnollisesti miten päästöt, viimein biosfääriin päästyään, kulkeutuvat ja keräytyvät. Kyse on käytännöllisesti katsoen hivenainepitoisuuksista, joten päästöt sekoittuvat ja kulkeutuvat kemiallisten analogiensa tavoin ensinnä pohjaveden virtausten mukana osittain pidättyen maaperään ja sedimentteihin.

Ennen päätymistään pintavesiin ja myös siellä ollessaan päästönuklidit sitoutuvat osaksi biologista kiertoa, mikä hidastaa ja kerryttää niitä. Kaasut tai biokemiallisesti haihtuviksi yhdisteiksi muuntuvat aineet päätyvät ilmakehään ja mahdollisesti kasvien hengityksen kautta vielä uudelleen kiertoon.

Kolmion täydentää ihminen: annoslasuja varten on tarkasteltava miten ihmiset voivat hyödyntää loppusijoituspaikan resursseja asumiseen, ruuantuotantoon ja muihin tarpeisiin, ja miten tämä voi vaikuttaa ensimmäiseen kohtaan, biosfääriin kehittymiseen. Voitaisiin väittää, että tässä "vain mielikuvitus on rajana".

Tarkastelemalla historiaa ja loppusijoituspaikan ympäristöä laajemmin voidaan arviointia kuitenkin rajata varsinkin, kun säteilyannokset ovat yleensä sitä suuremmat, mitä alkeellisemmasta yhteiskunnasta on kyse. Joka tapauksessa päästöjen ainemäärät kokonaisuudessaan ovat rajalliset, samoin kuin kontaminoituvan alueen laajuus, joten ihan mikä tahansa ei ole mahdollista. Kolmanteen kysymykseen liittyä olennaisesti myös se, miten ja millainen

kasvillisuus ja eläimistö loppusijoitusalueita asuttavat ja millaisia säteilyaltistuksia ja vaikutuksia ne voivat saada.

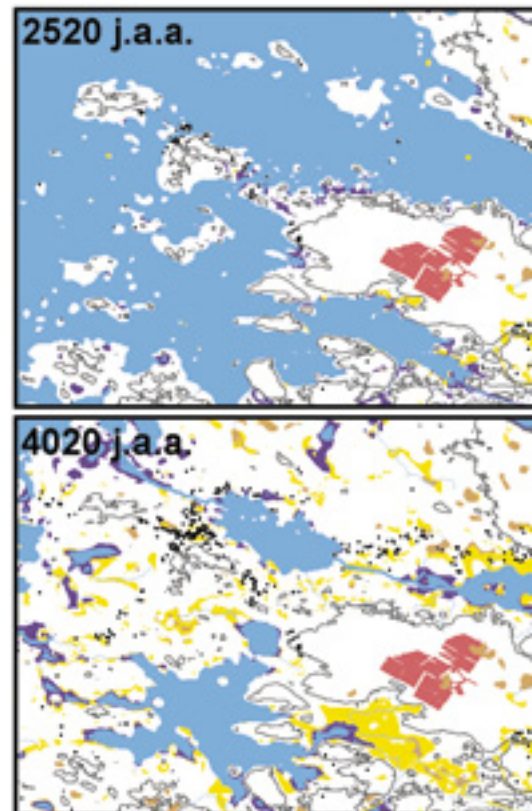
## Biosfääriarvioinnin rakenne

Biosfääriarviointi on kiinteä osa turvallisuusperustelua. Sitä ohjaavat samat menettelyt ja skenaariot, erityisesti ilmaston osalta, kuin muitakin osa-alueita. Myös biosfääriarviointi on muokattu prosessiksi (ks. kuva 1), jonka jokaiseen osaan kuuluu olennaisena osana tietämyksen laadun arviointi.

Arvioinnin avulla voidaan arviointiin sisältyvien oletusten, lähtötietojen ja tulosten epävarmuuksien sekä tulosten lähtötietoherkkeyden merkitykset käsitellä järjestelmällisesti ja kohdistaa resurssit tehokkaasti. Lisäksi prosessityöskentelyssä voidaan entistä paremmin varmistaa, että arvioinnin konservatiivisuus on optimoitu. Seurausten on varmuudella oltava liioiteltuja, mutta ei tarpeettoman paljon. Lähestymistapa toteuttaa Kansainvälisen säteilysuojelukomission (ICRP) tuoreimmat annosarviointia koskevat suositukset.

Biosfääriarviointi pohjautuu nykyisen ekosysteemin tuntemiseen. Keskeinen oletus on, että nykyisyys ja menneisyys ovat tulevaisuuden mallina. Biosfääriin kuvauksessa kenttätutkimustieto integroidaan ekosysteemimalleiksi, jotka toimivat varsinaisten radionuklidien kulkeutumismallien pohjana. Maaston ja ekosysteemien kehittymisen analysoinnissa laaditaan ennusteet tulevaisuuden biosfääristä parhaan käytettävissä olevan tieteellisen tiedon pohjalta.

Näiden perusteella ekosysteemikohtaisista kulkeutumismallimoduuleista rakennetaan yksinkertaistettu koko loppusijoitusalueen malli, jonka avulla simuloidaan päästöistä seuraavat aktiivisuuspitoisuudet biosfääriin eri kompartmenteissa. Lopuksi ihmisille sekä kasveille ja eläimille aiheutuvat säteilyvaikutukset analysoidaan annoslaskennan avulla. Tulosten oikeellisuus varmistetaan yksinkertaistetuilla kulkeutumismalleilla ja turvallisuusindikaattoreilla.



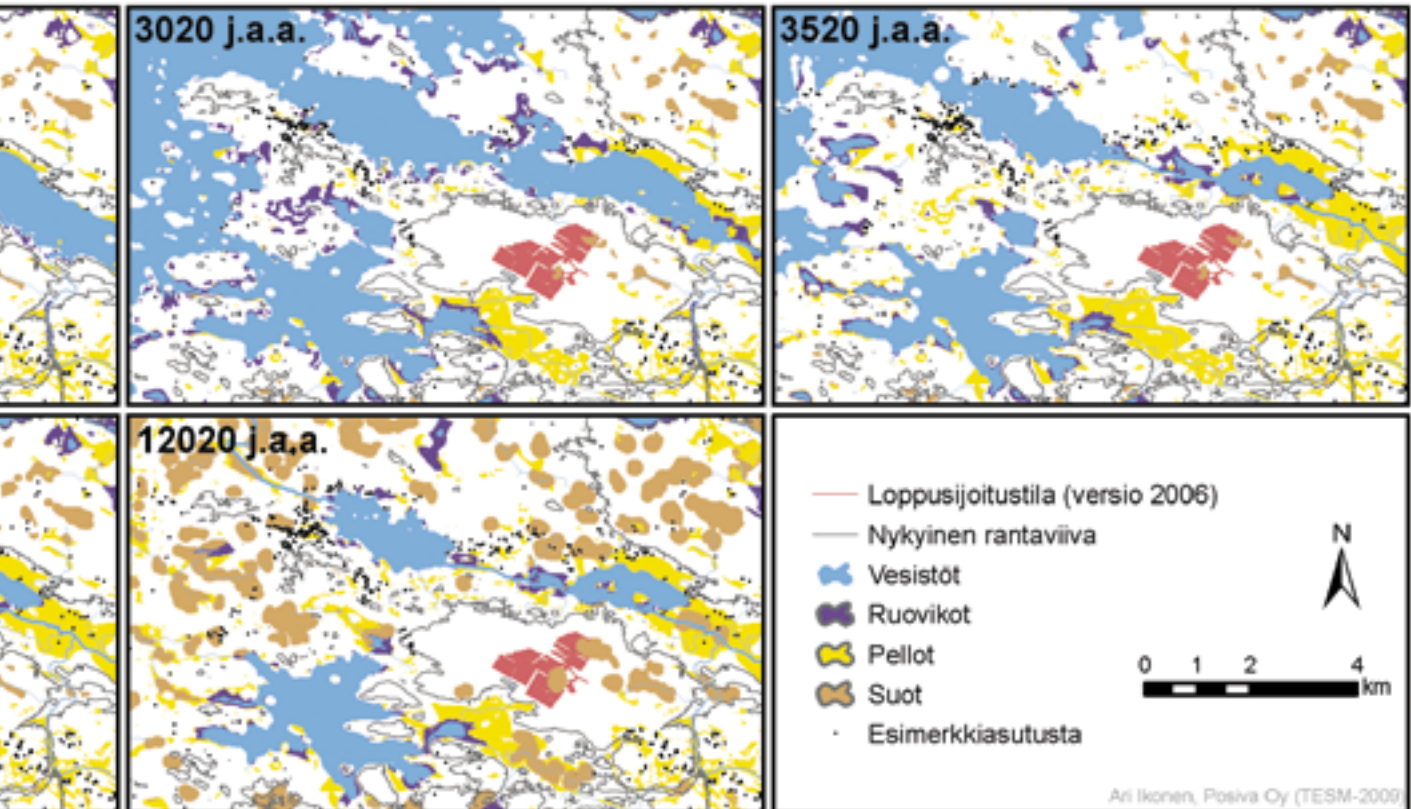
## Perusskenaarion tulokset

Yllä olevassa kuvassa on esitetty maasto- ja ekosysteemisimuloinnin tuloksia perusskenaariolle, jossa oletetaan viime jääkauden jälkeisen kehityksen jatkuvan ennallaan. Ihmisen aiheuttamaa merenpinnannousua näissä ei siis ole mukana, mutta pääpiirteissään tulokset olisivat samoja toistuen noin tuhat vuotta myöhemmin.

Alkuun muutoksia tapahtuu lähinnä, kun nykyiset saaret ja luodot kasvavat kiinni toisiinsa ja mantereeseen. Sarjan toisessa kuvassa Eurajoensalmi on lähes kuroutunut kahdeksi altaaksi, joista ylempi kehittyä muutamassa vuosisadassa järveksi ja kuten alemmikin hieman myöhemmin. Eurajoki ja Lapinjoki yhtyvät ja virtaavat näiden järvien läpi.

Eteläpuolelle nykyistä Olkiluodon saarta muodostuu samoihin aikoihin yksi iso ja syvä sekä pari pienempää järveä. Merestä paljastuu myös laajoja savikkoja, jotka otettaneen viljelyskäyttöön.

Mahdolliset päästöt loppusijoitustilasta tulisivat biosfääriin lähimpien jokien ja järvien rajaamalla alueella, osa alueen sisäpuolella oleville soille, pelloille ja metsiin.



Olkiluodon voimalaitos- ja purkujätelualan päästöt puolestaan ilmaantuvat nykyisen saaren länsikärjen eteen muodostuvaan ja vähitellen umpeen kasvavaan järveen, kuten jo 1980-luvulla ennakoitiin. Ajan kuluessa meri väistyy entistä kauemmas eikä enää vaikuta loppusijoitustilojen pohjavesiolosuhteisiin.

Vuoden 4020 kuvassa merta näkyy enää hieman kartan luoteisnurkassa. Tämän jälkeen Olkiluodon lähialueella ei suurempia muutoksia tapahdu, lukuun ottamatta vesistöjen vähittäistä umpeenkasvua sekä maaston soistumista ja turvesoiden laajenemista. Päästöistä kuitenkin entistä suurempi osa pidättyy tällöin pitenevän alavirran vesistöihin ennen päätymistään mereen, jossa pitoisuudet tehokkaan sekoittumisen vuoksi jäävät hyvin pieniksi.

Posivan biosfääriarviointi on hiljattain uudistunut lähes kokonaan eikä uusia, varmennettuja ja annosrajoihin suoraan vertailukelpoisia tuloksia ole vielä käsillä. Aiempien analyysien perusteella tiedämme jo, että joka tapauksessa eniten altistuvien yksilöidenkin säteilyannokset jäävät jopa hyvin pessimistisissä tapauksissa alle eniten altistuvalla pienellä yhteisöllä (esimerkiksi perheelle) asetetun annosrajan,

0,1 mSv/v. Annos on vain 1/37 suomalaisen nykyään keskimäärin saamasta vuosittaisesta säteilyannoksesta. Alustavien laskelmien mukaan säteilyannokset tyypillisille kasveille ja eläimille jäävät useita kertaluokkia alle tason, jolla voitaisiin havaita edes jonkinlaisia vaikutuksia.

### Kokonaisvaltaisuus on turvallisuutta

Loppusijoituksesta ei siis saa aiheutua haittaa ekosysteemille tai muutoin hanketta ei voitaisi toteuttaa. Eivätkä biosfääri tai sen muutokset saa vaarantaa loppusijoituksen turvallisuutta. Mistä siis motivaatio biosfääriarviointiin? Ensinnäkin, asian on näytettävä ja perusteltava olevan näin, ja turvallisuusvaatimusten täytyminen voidaan osoittaa vain laskemalla säteilyannokset niin ihmisille kuin eläimille ja kasveille. Toiseksi, biosfääriarviointi kattaa kaikki luonnontieteet ja integroi parhaan tietämyksen ekosysteemien toiminnasta ja kehitymisestä.

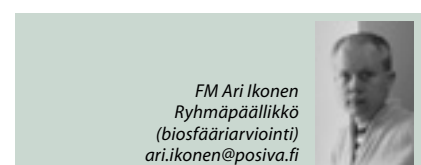
Monessa tapauksessa tällaista kokonaisvaltaista tarkastelua ei ole varsinkaan Suomessa vielä tehty. Tämä jos mikä on haastavaa. On selvää, että ilman laajan asiantuntijaverkon apua tästä työstä ei selviydyttäisi,

Kuva: Olkiluodon ekosysteemin ennustettu muuttuminen perusskenaariossa.

si, mikä tuo työhön sosiaalisiin haasteita ja palkintoja.

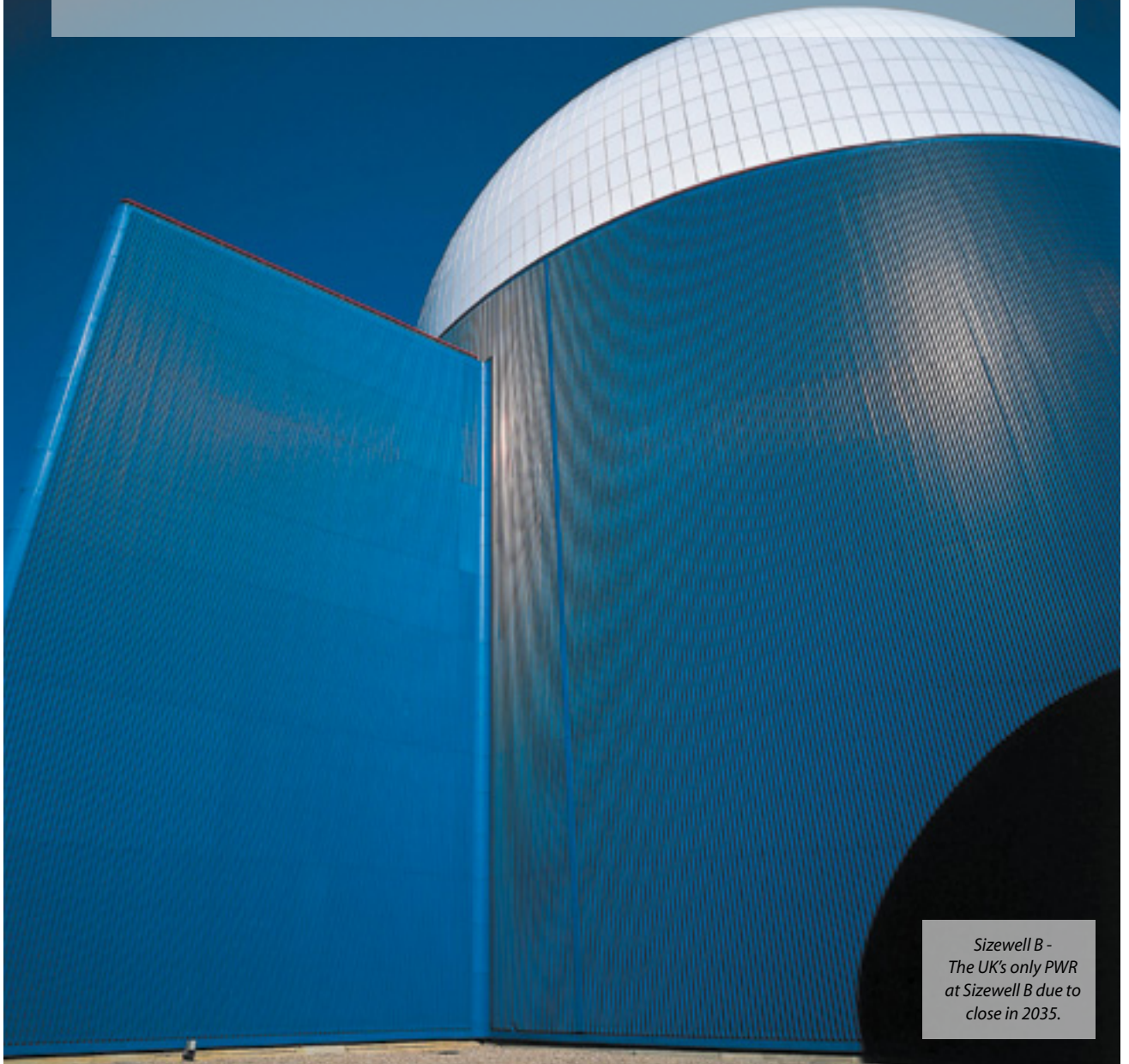
Loppusijoitushankkeen kokonaisaika-taulu pitää tahdin ripeänä ja tiedon yhdistämisen tarve rajaa tehokkaasti henkilöiden määrää. Jotta turvallisuuden, kustannustehokkuuden ja oikea-aikaisuuden vaatimukset täyttyisivät, on oltava myös riittävästi tieteellistä otetta. Näin harha-askelilta tai asioiden täydentämiseltä jälkikäteen vältytään mahdollisimman hyvin.

Näkemällä välttämätöntä tarvetta kauemmas säästetään resursseja, vaikka tätä ei juuri nyt pystytäköön suoraan osoittamaan. Turvallisuusperustelu muodostuu sekä kokonaisuuden että yksityiskohtien hyvästä hallinnasta.



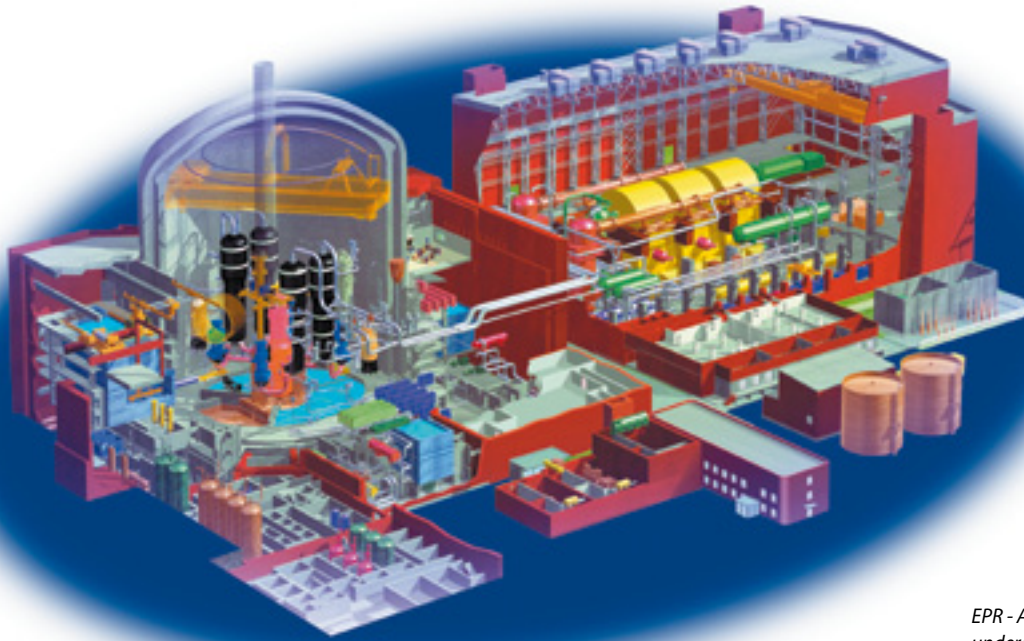
# Situation of Nuclear New Build in the United Kingdom

*During and immediately before 2003 the UK nuclear industry was viewed by most as a dying industry. However, present day opinion is that the UK nuclear industry and overall energy future is looking more positive. Nuclear Power in the UK has a history going back over 50 years and it looks certain that from ca 2020 the UK will be welcoming the nuclear renaissance for the first time since Sizewell B commenced operation in 1995.*



*Sizewell B -  
The UK's only PWR  
at Sizewell B due to  
close in 2035.*





*EPR - Areva Design EPR  
undergoing GDA in the UK.*

**T**he turning point for the UK nuclear industry was the UK Government's public consultation on Nuclear Power during 2006. The intent to consult with regards to new nuclear was promised in the 2003 Energy White Paper where the UK Government committed to the fullest public consultation before any new nuclear power stations would be built.

However, with various UK ministers proclaiming their support for new nuclear during the consultation process, Greenpeace successfully challenged the findings in favour of new nuclear build. At the high court in London Justice Sullivan declared that the 2006 consultation had been "seriously flawed" and "procedurally unfair". Although seen as a victory against nuclear it was clear that this was a criticism of the process, and not a judgement on the merits of nuclear power.

### Second Consultation in 2007

In the summer of 2007 the UK Government undertook a second consultation and what is now recognised as one of the most far reaching cases of Government engagement, they hosted deliberative consultation events and seminars, twelve regional stakeholder meetings and in response received over 4,000 consultation responses. The outcome of the second consulta-

tion was that in January 2008 the UK Government announced their support for new nuclear build and proclaimed that nuclear has a role to play in the UK's future energy makeup.

At present the UK energy mix is made up of 17% nuclear generation (15.5TWh). Peak winter demand is as high as 65GW with a low summer demand (overnight) of 22GW. With nuclear providing 10GW of baseload supply to the grid, it is often providing 70% of power demand. This combined with nuclear power plants due to commence decommissioning in the coming years has led to the Government forecasting the need for 35 GW of new low-carbon generation in the next 20 years.

### Planning and Legislation

The UK's Energy Bill of 2008 states that "It will be for the private sector to initiate, fund, construct and operate new nuclear plants and cover the full cost of decommissioning and their full share of long-term waste management costs" whilst also saying that The Government's role is to "address potential barriers to new build." This is particularly relevant when considering the last nuclear power station to be constructed in the UK, the British Energy operated PWR at Sizewell B. The public enquiry for Sizewell B was the longest in Brit-

ish history, lasting some 340 days between January 1983 and March 1985 and costing £15m.

The Governments commitment to "address potential barriers" involves reform of the current planning system. The UK Government, with the support of the opposition Conservative party, is currently working on reform of the planning system that should, in theory, speed up the processing of large infrastructure projects. The changes to legislation will significantly restrict the scope of planning inquiries, ensuring that discussion is focused on the application and prevent repetition of protracted national level arguments every time a new application is submitted. In short, the Planning Act has been developed to streamline the planning process for all major infrastructure projects, hopefully making the approval procedure for new nuclear dramatically shorter, without compromising on safety or local approval.

### Utilities' Positioning for New Nuclear Build

As new nuclear in the UK will be built and operated by the private sector entirely, there will be no link to the Government and as such the Government will not be responsible for decommissioning and waste management as is currently the case in the



UK. EDF recently invested over £12.5b to purchase British Energy, showing how seriously other nuclear utilities are treating the UK nuclear market, even without the guarantee of Government support in decommissioning and waste management issues.

Although EDF has indicated their intent to pursue new nuclear in the UK, there are other consortia which have formed to develop new nuclear. These include:

- EDF Energy (80%) and Centrica (20%)
- RWE npower (50%) and E.ON (50%)
- GDF-Suez (40%), Iberdrola (40%) and Scottish & Southern Energy (20%)

These international utilities are supported by the UK's nuclear supply chain including engineering and project management firms such as Amec, Doosan Babcock and Rolls Royce. It is estimated by the UK's Nuclear Industry Association that 80% of any new build can be resourced from within the UK, providing substantial economic benefits across the UK.

## Site Selection and Grid Connections

The location of the next generation of new reactors in the UK is a major obstacle that requires to be overcome by the UK Government. By deciding this in advance the planning process could be significantly simplified, making new build more attractive to the aforementioned nuclear utilities. The Nuclear Directorate of the UK Health and Safety Executive has begun a strategic site assessment to establish criteria for identifying the most suitable sites for new nuclear power stations. This process will also indicate how potential sites meet the criteria established. Once the assessment has been made it is the intention of the Government that, "planning inquiries should not reassess the question of whether there are alternative sites for a new nuclear plant, and whether the proposed site is a viable site."

In this process 11 sites have been nominated to Government for new nuclear build approval with development set to take place at 5 of these sites. The body responsible for overseeing the ca £2.5bn an-

Site	Sale Price	£ per acre	Winning Bidder
Oldbury	£75m	£9.6m per acre	E.ON UK Plc and RWE Npower Plc
Wylfa	£250m	£9.5m per acre	E.ON UK Plc and RWE Npower Plc
Bradwell	£160m	£9.3m per acre	EDF Development Company Ltd

Table 1:  
Site sale prices.  
Source: UK Nuclear  
Facilities Monitor  
(4 May 2009)

nual decommissioning budget in the UK, the Nuclear Decommissioning Authority (NDA) recently administered a 7 week online auction of some of the NDA land owned adjacent to existing nuclear sites. The auction prices are shown in Table 1.

In June 2009 the NDA also announced its intention to sell 618 acres of "nuclear development land" adjacent to the Sellafeld Nuclear Site. If the land sells for a similar price per acre then the NDA are set to receive up to £300m in income from this sale.

The UK National Grid also has a significant role to play in site selection. The existing sites have a number of available connections providing capacity reserved for new nuclear. A total of 23.6GW of connection capacity is available at over 10 sites across the UK.

## Generic Design Assessment Process

The Generic Design Assessment, GDA, process is intended to work alongside the streamlining of the planning and site selection process and make the overall approval process dramatically shorter than previously experienced. Furthermore, both of the reactor designs currently undergoing assessment by the UK's Nuclear Directorate are proven "off-the-shelf" technologies. These are the Westinghouse AP1000 and the Areva EPR. The aim of the GDA is to allow a standard reactor design to achieve licence approval for build in the UK. This combined with the site selection and planning process should ensure significant time and cost savings for the utilities interested in building new nuclear in the UK.

The process is based on a multi stage design authorisation. By employing a multi stage approach the UK nuclear regulator can carry out an assessment of the safety of a new reactor design at a relative-

ly early stage and then assess in more detail at a later stage as part of the site licensing process.

By issuing preliminary design authorisations and considering applications to build before planning inquiries begin, the process should be easier to complete whilst ensuring that safety is not compromised.

Although designed to offer more certainty to private investors, the work required to implement this process remains very significant.

Substantial investment is required to ensure the multi stage authorisation process works as planned and ensure that the nuclear regulator has the staff capable of taking on the additional assessment work.

## Investment Timeline

EDF, as the new owner of British Energy, and other major utilities are envisaging that the first new nuclear station will be operational by late in 2018. In addition, they forecast that a new one can be brought online every 18-24 months following that. To achieve this and based on a 7 year build timescale (2 years site development and 5 years to construct and commission), regulatory consent will be required by mid 2010. However, as outlined below this is likely to be delayed until 2012 at best.

It is anticipated that each of the aforementioned consortia will initially build 2 reactors, self-funded from balance sheets. This equates to capital expenditure of ca £.0b per reactor (based on the EPR at Flamanville), or ca 24b in total. Nuclear power investments have two distinct phases of financial risk:

1. A low risk phase with expenditure <£250m for acquiring sites and developing planning and regulatory consents and statutory approvals;
2. A high risk phase, ca 4.0b capital expenditure for constructing a new nuclear

station. In this phase, due to high labour costs, the risk of major cost escalation occurs even with minor programme delays.

The utilities are presently in the low risk phase of nuclear site development, which began in January 2009, will significantly ramp-up by July 2010 after the utilities fully acquire the build sites, and then will probably extend to July 2012. In June 2009 EDF, RWE and E.ON executives announced that their company investment boards would only take the final decision on nuclear capital investments by around 2011 or 2012. There are good reasons for this delay:

- Within the current global recession, to restructure corporate debt, sell-off non-core business units, and so improve access to working capital needed for build projects.
- Assess the impact of political change in energy policy following the UK General Election, and particularly the impact on planning policy and abolition of the IPC Commission.
- Assess forward carbon prices under Phase III of the EU-Emissions Trading System scheme, and whether the Government will set a minimum floor price for carbon >25/t of CO<sub>2</sub>.
- Assess the impact of Government-subsidies for development of carbon-capture technology for fossil-fuelled plants (which would compete with nuclear power).

## Predicted First Wave of New Nuclear in the UK

Although this is subject to a high degree of uncertainty, it is likely that the first wave of new nuclear in the UK will be as follows:

<p><b>EDF Energy with Centrica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 EPR Reactor Units (5.4GW)</li> <li>• Locations: Hinkley (twin EPR) and Sizewell (twin EPR)</li> </ul>	<p><b>RWE with E.ON</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 AP1000 Reactor Units and 1 EPR reactor unit (4.9GW)</li> <li>• Locations: Wylfa (triple AP1000) and Oldbury (single EPR)</li> </ul>
---	--

Together, this represents enough new nuclear capacity (11.3. GW) to completely replace the UK's existing 10.5 GW nuclear fleet.



AP1000 - Westinghouse Design AP1000 undergoing GDA in the UK

## Supply Chain Challenges

The UK nuclear industry (including decommissioning and waste management) directly and indirectly supports in excess of 90,000 jobs. In order to achieve the maximum benefit for the UK economy, a substantial increase in that number will be required in coming years. Areva has stated that the UK could provide 70% of the supply chain work, whilst Westinghouse has estimated that a fleet of new AP1000 reactors could be worth £30bn to the UK economy over their lifecycle.

This initially appears to be positive news for the UK economy but the workforce must mobilise to meet these demands. With the average age of UK nuclear workers in the region of 50, many challenges face the UK to ensure that engineers, scientists, skilled labourers etc. are available to rise to these challenges.

For these reasons the NDA is co-operating with a multitude of agencies to nurture the UK supply chain as the rewards are likely to be immense.

These agencies are working with the


nuclear industry will also provide the UK economy with a substantial boost with the creation of thousands of skilled jobs as unlike many UK industries, in a time of recession, the nuclear industry provides a far better outlook in challenging economic conditions.

## Summary

Nuclear power in the UK has many challenges to overcome in the coming few years. With Government opposition to new nuclear as little as six years previous, a step change in UK policy has been required to address the looming energy gap. Public consultation has been far reaching and on a scale never before seen in the UK.

This has helped public perception which is now at 44% in favour of new nuclear power, opposed to 19% against (Source: Ipsos MORI 2008). There has never been a better time to address planning, site selection and design issues to facilitate reactor vendors willing to invest in the UK nuclear market. Nuclear Power in the UK has a history going back over 50 years and it looks certain that from ca 2020 the UK will be welcoming the nuclear renaissance for the first time since Sizewell B commenced operation in 1995. Whether or not the UK supply chain can rise to this challenge is yet to be known. ■

*MSC, BEng (Hons),  
MChemE, CEng, Alan Ruiz  
Halcrow Group Limited  
Principal Safety Engineer  
Nuclear Safety Case Engineer  
ruiza@halcrow.com*



# Uudistunut Ydinasiaa-verkko-oppimateriaali monipuolistaa säteilyopetusta



Ydinasiaa-verkko-oppimateriaalissa on viisi eri osiota: Säteilyn historia ja tulevaisuus, ionisoiva säteily, säteilyturvallisuus, säteilyn hyötykäyttö ja energian tuotanto.

Ydinasiaa-verkko-oppimateriaali on peruspaketti säteilystä ja ydinsähköstä peruskoulun ja lukion luonnontieteiden opetuksen tueksi. Tutuksi tulevat niin säteilyn ja ydinsähkön historia, ketjureaktio, puoliintumisaika, eri säteilylajit, erilaiset isotoopit, ydinvoimalaitoksen toiminta, ydinjätteen loppusijoitus kuin säteilyn muu hyötykäyttö.

Ydinasiaa-verkko-oppimateriaalin ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 2001, ja se on ollut laajasti käytössä eri oppilaitoksissa. Täysin uudistunut Ydinasiaa avattiin kesäkuussa 2009. Uudistuksen myötä verkkopalvelu sai uuden rakenteen ja ulkoasun.

Materiaalin sisältökäsikirjoituksesta vastasi fysiikan tuntiopettaja Annika Ampuja. Käsikirjoituksen kommentointiin osallistui laaja joukko eri alojen asiantuntijoita. Uudistusta varten kerättiin palautetta myös Ydinasiaa-verkko-oppimateriaalia

opetuksessaan käyttäneiltä fysiikan opettajilta. Uudistettu Ydinasiaa löytyy osoitteesta [www.tat.fi/ydinasiaa](http://www.tat.fi/ydinasiaa).

## Ydinasiaa – havainnollisuutta animaation ja simulaation keinoin

Ydinasiaa-verkko-oppimateriaali nojaa peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmiin. Sen tavoitteena on tukea opettajaa ottamaan käyttöön uusia lähestymistapoja ja keinoja säteilyilmiöiden käsittelemiseksi opetuksessa.

Tärkeänä on pidetty myös sitä, että asiat on esitetty mahdollisimman havainnollisesti ja nuoria kiinnostavalla tavalla. Ydinasiaa-verkko-oppimateriaaliin on tuotettu tämän vuoksi mahdollisimman paljon animaatioita ja simulaatioita. Internet oppimisympäristönä puolestaan antaa uusia mahdollisuuksia ja ulottuvuuksia opetuksen suunnitteluun ja eriyttämiseen.

Verkko-oppimateriaalin sisältö koostuu toisistaan riippumattomista osioista, joita voi opiskella itsenäisesti tai ryhmissä. Osiot on jaettu säteilyn historiaan ja tulevaisuu-

teen, ionisoivaan säteilyyn, säteilyturvalli-  
suuteen, säteilyn hyötykäyttöön ja energi-  
an tuotantoon.

Säteilyn historia -osiossa selviää mm.  
kuka löysi radioaktiivisen säteilyn, milloin  
röntgensäteitä sovellettiin ensimmäisen  
kerran lääketieteessä ja millaista on tule-  
vaisuudessa sähköntuotanto.

Ionisoiva säteily -osiossa selviää mitä  
eroa on alfa-, beeta- ja gammasäteilyllä  
sekä mikä on puoliintumisaika. Näiden ky-  
symysten lisäksi osiossa tarkastellaan sätei-  
lyn keskeisiä käsitteitä sekä mittayksiköitä  
ja kerrotaan ihmisen saamasta ionisoivas-  
ta säteilystä.

Säteilyturvallisuus-osiossa perehdy-  
tään säteilyltä suojautumiseen, kaivostoi-  
mintaan sekä esitellään työtehtäviä, jois-  
sa säteily on osa arkipäivää. Osiossa selvi-  
ää myös eri säteilylajien läpäisykyky, esi-  
merkiksi läpäisekö beetasäteily paperin  
ja miten suojautua auringon ultravioletti-  
säteilystä.

Säteilyn hyötykäyttö -osiossa tutustu-  
taan säteilyn hyötykäyttöön teollisuudes-  
sa, tutkimuksessa, terveydenhuollossa ja  
kotona. Lisäksi käydään läpi röntgenkuva-  
uksen ja lentokentän turvatarkastuksen  
peruseräatteen.

Energiantuotanto-osiossa tutustutaan  
fissioon ja fuusioon, ydinvoimalaitoksiin  
sekä muihin energiantuotantoprosessei-  
hin. Osiossa käydään läpi mitä eroa on fis-  
siolla ja fuusiolla tai kiehuksen- ja paineve-  
sireaktoreilla.

## Oppimateriaalia säteily- opetukseen vuodesta 1995

Ydinasiaa-verkko-oppimateriaali on osa  
Päivänsäde-hanketta, jonka puitteissa on  
tuotettu oppimateriaalia vuodesta 1995  
lähtien. Hanke ajoittui alun perin Euroopan  
unionin tiedeviikolle, jonka tavoitteena oli  
tuolloin jäsentää peruskoulujen puutteel-  
liseksi todettua säteily- ja säteilynsuojelu-  
opetusta.

Vuonna 2000 käynnistyi kolme vuot-  
ta kestänyt Opetushallituksen rahoittama  
ja Helsingin yliopiston Soveltavan kasva-  
tustieteen laitoksen (ent. opettajankoulu-

tuuslaitos) koordinoima Fyke-virtuaalikou-  
luhanke. Hanke oli suunnattu luonnontie-  
teiden ja matematiikan opettajien täyden-  
niskoulutuksen kehittämiseksi.

Hankkeeseen kuului seitsemän pilotti-  
koulu eri puolilta Suomea. Taloudellisen  
tiedotustoimiston Ydinasiaa-verkko-op-  
pimateriaali tuotettiin osana tätä hanket-  
ta. Ensimmäinen versio Ydinasiaa-verkko-  
oppimateriaalista julkaistiin EDUCA 2001  
-messuilla.

Ydinasiaa-verkko-oppimateriaalia on  
päivitetty vuosien varrella useita kerto-  
ja. Kokonaan uuden version työstäminen  
alkoi keväällä 2008. Helsingin yliopiston  
soveltavan kasvatustieteen laitoksen, Hel-  
singin normaalikoulun ja Eurajoen yhteis-  
koulun verkko-opetukseen perehtyneet  
fyysiikan opettajat kävivät vanhan version  
tarkkaan läpi ja kokosivat kehitysideoita.

Ydinasiaa-verkko-oppimateriaalin asia-  
käsikirjoituksesta vastasi fyysiikan tuntiopet-  
taja *Annika Ampuja*. Annika on opiskellut ja  
työskennellyt Helsingin yliopiston Sovel-  
tavan kasvatustieteen laitoksella ja hänel-  
lä on vankka kokemus verkko-opetukses-  
ta erilaisten hankkeiden myötä. Annika on  
perehtynyt erityisesti verkko-oppimateri-  
aalien käytettävyyteen ja käyttöönottoon,  
mitkä seikat korostuvat myös uudistetussa  
Ydinasiaa-verkko-oppimateriaalissa.

Käsikirjoituksen tarkistivat Säteilyturva-  
keskuksen, Teollisuuden Voima Oyj:n, Fen-  
novoima Oy:n, Fortum Oyj:n ja Energiate-  
ollisuus ry:n asiantuntijat. He toivat käsikir-  
joitukseen uusia näkökulmia sekä paljon  
ajankohtaista tietoa.

## Opetin.fi tarjoaa käyttövinkejä

Opetin.fi on eri oppiaineiden ja kouluas-  
teiden opettajille ja yrityksille suunnattu  
verkkopalvelu, joka tarjoaa elinkeinoelä-  
mää, yrityksiä ja taloutta koskevaa tietoa ja  
tukea opetukseen.

Opetin.fi auttaa kehittämään opettaji-  
en työtä sekä kannustaa opettajia yhteis-  
työhön, innovatiivisuuteen ja luovuuteen.  
Palvelu tarjoaa myös kannustavan fooru-  
min opettajien ja yritysten väliselle vuoro-  
puhelulle.

Verkkopalvelu tarjoaa opettajille konk-  
reettisia työkaluja opetuksen tueksi: hyviä  
käytäntöjä ja valmiita malleja koulujen ja  
yritysten yhteistyöhön, eri oppiaineiden  
opetukseen sovellettavia tehtäviä ja niiden  
tukimateriaaleja sekä haastatteluja.

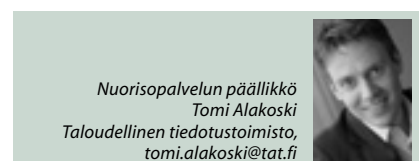
Opetin-yhteisössä voit myös verkostoi-  
tua, luoda omia aihekohtaisia yhteisöjä, kir-  
joitus- ja kommentointipalstoja ja kirjoittaa  
blogia. Siellä voit myös kommentoida mui-  
den tuottamaa materiaalia sekä jättää pal-  
veluun omia sisältöjä kommentoitavaksi ja  
edelleen kehitettäväksi. Verkkopalvelun si-  
sältö elää ja muuttuu koko ajan.

Opetin.fi tarjoaa vinkkejä myös Ydinasia-  
aa-verkko-oppimateriaalin käyttöön. Sivus-  
tolla on valmiita tuntuunnetelmia ja kysy-  
myksiä, mitkä helpottavat verkko-oppima-  
teriaalin käyttöönottoa. Palveluun avataan  
lisäksi oma keskustelufoorumi Ydinasiaa-  
verkko-oppimateriaalia käyttäville opetta-  
jille. Näin opettajat voivat jakaa kokemuk-  
siaan ja opetusvinkejään verkko-oppima-  
teriaaliin liittyen.

Taloudellinen tiedotustoimisto järjestää  
syksyllä 2009 myös Ydinasiaa-verkko-op-  
pimateriaalin käyttöönottoa tukevia kou-  
lutuksia. Koulutuksista löytää tietoa mm.  
opetin.fi-verkkopalvelun kautta.

Opetin.fi korvaa Taloudellisen tiedotus-  
toimiston Opetat-verkkopalvelun. Palve-  
luun rekisteröityminen ja sen käyttö on  
maksutonta.

**Tomi Alakoski** on koulutukseltaan kasva-  
tustieteiden maisteri. Hän on työskennellyt  
erilaisissa ammatinvalintaviestintään liit-  
tyissä tehtävissä Taloudellisessa tiedotus-  
toimistossa vuodesta 2000. Alakoski val-  
mistelee väitöskirjaa Ydinasiaa-verkko-op-  
pimateriaalin käyttöönottoon vaikuttavista  
tekijöistä.



## Ydinasiaa opetuskäytössä

**E**urajoen yhteiskoulussa ja lukiossa on käytetty Ydinasiaa-verkkomateriaalia vuodesta 2000 lähtien. Sen avulla on ollut mielenkiintoista ja monipuolista havainnollistaa säteilyilmiöitä. Materiaalista löytyy aihioita sekä peruskoulun yläluokille että lukion fysiikan ja kemian opiskeluun. Eri oppilailla on erilaisia oppimistyyliä. Verkko-oppimateriaali antaa opettajalle mahdollisuuden monipuolistaa opetustaan ja oppilaat saavat lähestyä opittavaa asiaa monipuolisemmin omalla tyylillään.

Tietokone mahdollistaa interaktiivisen ja vuorovaikutteisen oppimisen ja oppilas voi halutessaan hakea lisää tietoa kiinnostuksen kohteestaan. Myös materiaalin monet animaatiot ja simulaatiot havainnollistavat opittavaa asiaa eri tavoin kuin liitutaulu tai kirjallisuus.

Verkko-oppimateriaalin avulla on helppo eriyttää eritasoisia oppilaita. Oppilas voi edetä tietokoneella omien oppimisedellytystensä ja kiinnostuksensa mukaisesti. Toisaalta materiaalia on käytetty myös pari- ja ryhmätöyöskentelyyn. Lisäksi materiaali antaa hyvän pohjan opintokäynneille ja mahdollisuuden tutustua vierailun aiheeseen jo ennen opintokäyntiä.

**Leena Mannila** on toiminut Eurajoen yhteiskoulun ja lukion fysiikan, kemian ja matematiikan opettajana. Hän on ollut mukana Ydinasiaa-verkko-oppimateriaalin kehitystyössä vuodesta 2000. Leena on myös käyttänyt verkko-oppimateriaalia monipuolisesti opetuksessaan. Ohessa hänen ajatuksiaan siitä, miten Ydinasiaa-verkko-oppimateriaalia voi käyttää opetuksessa.

## Mitä, miten, kuinka sovellan...?

Olen käyttänyt materiaalia sekä peruskoulussa että lukiossa fysiikan ja kemian tunneilla.

**Materiaalia voi käyttää hyvin monella eri tavalla. Olen käyttänyt esimerkiksi seuraavia työtapoja:**

- 1. lukeminen ja kirjoittaminen**
- 2. opettajan kysely**
- 3. parityöskentely**
- 4. opintokäyntiin valmistuminen**
- 5. väittely**

### **1. Lukeminen ja kirjoittaminen**

Verkkomateriaalia käytetään tiedonlähteenä ja kirjoitetaan juttua pienissä ryhmissä tai yksin. Oppilas voi tehdä koonnan suoraan tekstinkäsittelyohjelmaan käyttäen apuna valmiita kysymyksiä. Aiheena voi olla esimerkiksi tutkia, mistä ihminen saa säteilyä ja kuinka paljon tai millä alueilla Suomessa esiintyy eniten säteilyä ja miksi?

### **2. Opettajan kysely**

Oppilaat tutustuvat johonkin osa-alueeseen esimerkiksi eri energiantuotantota-

poihin. Oppilaat etsivät mielestään parhaan energian tuotantotavan ja puolustavat sitä. Opettaja johtaa keskustelua, kyselee ja jakaa puheenvuoroja luokassa. Lopuksi tehdään yhteenveto aiheesta.

### **3. Parityöskentely**

Opettaja antaa oppilasparille aiheen, johon he yhdessä hakevat tietoa. Aihe voi olla esimerkiksi, mihin tarkoituksiin ydinsäteilyä käytetään. Pareittain perehtymisen jälkeen, kaksi paria keskustele keskenään ja tekee yhteenvedon siitä, mihin tarkoituksiin ydinsäteilyä käytetään.

Keskustelua voidaan jatkaa yhdistämällä pareja keskenään.

### **4. Opintokäyntiin valmistuminen**

Opintokäynteihin on aina syytä valmistautua huolella. Ennakkovalmisteluissa Ydinasiaa-verkko-oppimateriaali toimii erittäin hyvin. Samalla voidaan laatia etukäteen kysymyksiä opintokäynnille. Opintokäynnin jälkeen on hyvä tehdä raportti vierailusta. Myös tähän voi käyttää verkkomateriaalia hyväksi.

### **5. Rooliväittely**

Jaetaan oppilaat eri asiantuntijaryhmiin. Ryhmät voivat olla esimerkiksi ydinvoiman vastustajat, ydinvoiman puolustajat, uusin energian tuotantotapojen puolustajat yms. Oppilaat valmistautuvat omaan rooliinsa verkkomateriaalia hyväksi käyttämällä koulussa ja kotona. Loppuhuipentumana järjestetään väittely. Luokassa muiden oppilaiden roolina on esittää kiperiä kysymyksiä ryhmien edustajille

Leena Mannila  
FM, yliopisto-opettaja  
Turun yliopisto  
leena.mannila@utu.fi





Fortumin Loviisan ydinvoimalaitoksen ympäristön ilmankerääjä, joka sijaitsee Fennovoimalle kaavoitettavalla Ruotsin-pyhtään Gäddbergsön voimalaitosalueella.

# Ydinvoimalaitosten ympäristön säteilyvalvonta

*STUK on YVL-ohjeissa määritellyt, miten ydinvoimaloiden päästöjä ja ympäristöä pitää valvoa, ja miten tiedot raportoidaan neljännesvuosittain. Päästöjen huolellinen mittaaminen on laitosten omalla vastuulla, pääosin ympäristön mittaukset toteuttaa riippumaton laboratorio. Säteilyturvakeskuksen ydinvoimalaitosten valvontaosasto käy ympäristön säteilyvalvonnan kokonaistilanteen tarkkaan läpi vähintään kerran vuodessa raportoitujen tietojen perusteella sekä ydinvoimalaitoksiin kohdistuvissa tarkastuksissa.*

**R**adioaktiivisia aineita on ollut ympäristössä maailmankaikkeuden alusta asti. Suurin osa niistä on luonnon alkuperää. Radioaktiiviset aineet ja niiden lähettämä säteily voidaan mitata erittäin tarkasti pienistäkin pitoisuuksista.

Ydinvoimaloiden ympäristössä mitataan mahdollista radioaktiivisuutta muun muassa näyttein ilman hiukkasista, sadevedestä, maaperästä, luonnontuotteista ja riistasta sekä maaympäristön indikaattori-

organismeista, jotka pystyvät rikastamaan radionuklideita. Elintarviketuotannosta pitää tutkia mm. laidunruohoa, maitoa, viljaa ja lihaa. Samoin valvotaan myös puutarhatuotteita, talousvettä, merivettä, meriympäristön indikaattoriorganismeja, kaloja, sedimentoituvaa ainesta ja pohjasedimenttejä.

Ulkoista säteilyä mitataan ydinvoimalaitosten omilla jatkuvilla mittausasemilla sekä lähellä (0,5 km - 1,5 km) että noin

5 km:n kehällä. Ulkoisen säteilyn jatkuvat mittarilukemat näyttävät myös sen, että Loviisan seudulla monissa paikoissa säteilee enemmän kuin Olkiluodon ympäristössä, mikä johtuu seudun uraani- ja radonpitoisesta kallioperästä.

## Säteilytarkkailu ostetaan pääosin palveluna

Ydinvoimayhtiöt voivat ostaa laitosympäristön säteilytarkkailun palveluna STUKin





*Olkiluodon lähialueen ulkoisen säteilyn mittausasema lähettää reaaliajassa langattoman viestin anturilukemista keskusjärjestelmään.*

tutkimusosaston laboratorioista. Tällä on historiallistakin perua ajalta, jolloin ei vielä ollut selkeätä rajaa viranomaisvalvonnan ja tutkimuksen välillä. Yritykset voisivat ostaa mittauksia muualtakin, mutta tutkimusosaston näytteenotto- ja analyysimenetelmät ovat usein parhaimmat Suomessa saatavilla olevista. Jos voimayhtiöt tekisivät työn itse, se sitoisi kokonaisuudessaan enemmän niiden omia resursseja, ja mittauksen rinnalle luotaisiin joka tapauksessa jokin riippumaton valvontaohjelma.

### Säämastoilla tietoa ilman liikkeistä

Voimalaitospaikkojen säähavaintoja varten niissä on toista sataa metriä korkeat säämastot, jotka seuraavat jatkuvasti ilman kerrostuneita virtauksia, lämpötilaa ja sa-

detta. Meteorologiaan perustuva leviämislaskenta antaa teoreettisen pohjan laimenemis- ja laskeumatilanteen arvioimiselle. Meriympäristössä haasteet eivät ole niin dynaamisia ja niissä ei tehdä rutiininomaisesti moniulotteista virtauslaskentaa vuoden eri ajankohtina. Uusien laitoshankkeiden ympäristövaikutusten arviointiin on tehty lämpimän jäähdytysveden leviämistä koskevat vesistöympäristölaskelmat.

### Pitoisuudet ovat pysyneet pieninä

Vuosittain raportoitavia lukuja on tuhansia. Joskus niissä on saattanut olla puutteita, mutta reilun 30 vuoden aikana ei Suomessa ole todettu mitään sellaista, että jotakin laitoksella tai ympäristössä olisi pitänyt tehdä toisin. Erittäin pieniä määriä

paikallisten voimalaitosten ilmapäästöistä peräisin olevia aktivoitumistuotteita voidaan havaita lähialueelta otetuissa ilma- ja laskeumanäytteissä. Elintarvikkeissa ja talousvedessä ei ole esiintynyt paikallisista päästöistä lähtöisin olevia radioaktiivisia aineita. Voimalaitoksen ympäristöistä kerätyissä sienissä ja luonnonmarjoissa esiintyy Tshernobylin onnettomuudesta peräisin olevia kesiumia ja luonnon kalium-40:ä.

Voimalaitosten vesipäästöistä peräisin olevaa radioaktiivista tritiumia voidaan havaita lähialueen merivedessä. Vesiympäristössä on paikallisista päästöistä peräisin olevia aktivoitumistuotteita; erityisesti ns. indikaattorikasveissa ja -eläimissä, jotka rikastavat radionuklideja, sekä pohjalle laskeutuvassa aineksessa ja pohjasedimentteissä. Selvästi merkittävin keinotekoinen radioaktiivinen aine voimalaitosten ympäristönäytteissä on edelleen Tshernobylin onnettomuudesta peräisin oleva kesium-137. Kaikissa näytteissä esiintyy luonnon kalium-40:ä. Indikaattoriorganismeissa ja pohjalle laskeutuvassa aineksessa havaittujen paikallisten päästönuklidien pitoisuudet ovat olleet kuitenkin erittäin pieniä, eikä niistä ole haitallista vaikutusta ympäristön asukkailla eikä luonnon organismeille.

### Altistus vähentynyt entisestään

Vesiympäristön säteilyvalvonta tuloksineen koko Suomen ydinvoiman käytön ajalta on koottu Helsingin yliopistossa juuri tarkastettuun Erkki Iluksen väitöskirjaan (STUK-A 238).

Kun laitokset käynnistyivät, pystyttiin teoreettisesti arvioimaan lähialueen ihmismelle säteilyaltistuksen lisäys, joka oli promilleluokkaa luonnollisesta altistuksesta. Sekin on selvästi vähentynyt. Reaktorien ydinpolttoaineen vuodot jäähdytteen ovat harvinaisia, Suomessa on viime vuosina havaittu vuotava polttoainesauva noin kerran vuodessa. Loviisassa on otettu käyttöön järjestelmä, joka poistaa kesiumjäätämät jätevesistä. Olkiluodossa kierätetään vuosihuolloissa uudelleen käyttöön reaktorialtaiden kemiallisesti puhdasta vettä, jossa on pieniä määriä radionukli-



deja. Kumpikin yhtiö on valmis arviomaan uusiakin keinoja radioaktiivisten päästöjen poistamiseksi. Tshernobylin onnettomuus vaikutti Suomessa ja alueellisen laskeuman vaikutukset näkyvät edelleen sisävesikalassa, hirvenlihassa, sienissä, maaperässä ja pintavesissä.

## Toimintaa arvioidaan kansainvälisesti

EU:n komission säteilysuojeluyksikkö käy tekemässä jäsenvaltioissa kansainvälisen asiantuntijaryhmän voimin ympäristön säteilyvalvonnan riippumattomia tarkastuksia. Suomessa sellainen tehtiin vuosina 1997, jolloin se kohdistui Olkiluodon ja STUKin toimintoihin, ja 2007, jolloin tarkastettiin laajasti valtakunnan säteilyvalvontaa. Arviot ovat olleet myönteisiä ja asiantuntijoiden raportit seikkaperäisiä. Valtakunnan säteilyvalvonnan tulokset raportoidaan vuosittain (uusin STUK-B sarjan raportti löytyy aina STUKin websivuilta).

Suomalaista käytäntöä vastaava hyvin tarkka ydinvoimalaitosympäristön säteilyvalvonta toteutuu monessa Euroopan maassa kuten Ranskassa, Saksassa, Sveitsissä ja Isossa-Britanniassa (UK). Ruotsissa käytäntö on yksinkertaisempi: seikkaperäinen ohjelma toteutetaan kullakin paikalla muutaman vuoden välein ja vuosittain havainnoidaan perusasiat joista voidaan päätellä säteilytilanteen säilyminen ennallaan.

## Mittauksilla havaitaan mahdollinen onnettomuspäästö

Euroopassa on toiminnassa reilusti yli sata ydinreaktoria. Ne ovat muutamien poikkeuksin toimineet käytännössä ideaalisesti ympäristön kannalta. Sveitsissä Mühlebergin ydinvoimalaitoksen ilmastoinnin puhdistussuodattimista oli poikkeuksellisesta kuormittumisesta seuranneen vioittumisen seurauksena 1986 karannut radioaktiivisuutta laitoksen ulkopuolelle. Tapahtuma havaittiin vasta ympäristönäytteistä, koska levinneet hiukkaset olivat odottamattoman suuria (50 mikrometriä) ja tarttuivat sekä silloisen päästönäyteenottojärjestelmän linjoihin että poistopiippuun. Un-



*Loviisan ydinvoimalaitoksen ympäristö on kaunista saaristo- ja ranta-alueetta, joka on vaativaa meteorologisen leviämistiedon tulkinnan kannalta. Vasemmalla voimalaitoksen nykyinen säämastotorni, jossa on metsän yläpuolella kolmella tasolla havaintolaitteita.*

karissa oli v. 2003 säteilyvaarallinen tilanne laitoksen sisällä, kun Paksin ydinvoimalan kakkosyksiköllä puhdistettavana olleen käytetyn polttoaineen jäähdytys epäonnistui ja se kuumeni vesialtaassa olevassa laitteistossa aiheuttaen myös lähialueella juuri havaittavan päästön. Sosnovyi Borin ydinvoimalaitokselta on ollut tapahtumiin liittyviä vähäisiä radioaktiivisuuspäästöjä ilmaan, ja sen ilmapäästö on normaalisti ainakin kymmenen kertaa suurempi kuin pohjoismaisissa ydinvoimalaitoksissa.

Mittausverkoilla voisi havaita nopeasti poikkeuksellisen ydinvoimalaitospäästön. Olkiluodossa ja Loviisassa on lähialu-

eella parikymmentä reaaliaikaista mittausasemaa sijoitettuna eri tavoin maa- ja meriympäristöön. Ulkokehien mittaustiedot menevät laitoksen lisäksi STUKin valmiusjärjestelmään sekä vastuulliselle pelastuslaitokselle. Mittarien tietojärjestelmä laitoksella on eriytetty valtakunnan mittausverkosta, jotta se siirtää luotettavasti mittaus tulokset kaikissa tilanteissa.

Suomen valtakunnan reaaliaikainen säteilymittausjärjestelmä on uudistettu vuosina 2006 - 2008. Se on teknisesti hyvin kehittyneet ja lähes 300 mittausasemalla laajimpia Euroopassa myös maamme koon huomioon ottaen. ■



*Jutun kirjoittaja (oik.) ja väitöskirjan 'Environmental effects of thermal and radioactive discharges from nuclear power plants in the boreal brackish-water conditions of the northern Baltic Sea' tekijä FT Erkki Illus.*

Olli Vilkkamo  
Säteilysuojelu-toimiston päällikkö  
STUK / Ydinvoimalaitosten valvonta  
olli.vilkkamo@stuk.fi

# ATS antoi lausunnon periaatepäätöshakemuksista

**S**uomen Atomiteknillisen Seuran johtokunta uudistui helmikuussa 2009 varsin perusteellisesti. Uusi johtokunta päätti, että seuran on syytä antaa lausunto uusien ydinvoimalaitoshankkeiden periaatepäätöshakemuksista. Kaikkia kolmea hakemusta yhteisesti koskeva lausunto on luettavissa oheisena ja löytyy lausuntona numero 71 kaikkiaan 161:stä ilman TEM:n lausuntopyyntöä annetusta lausunnosta TEM:n www-sivuilta.

Lausunnossa, jonka teksti on johtokunnan tarkastama ja puheenjohtajan allekirjoittama, on aluksi pyritty perustelemaan selkeästi, miksi lausunnon antaminen nähtiin tarpeelliseksi. ATS on syksyllä 2008 julkaissut alan koulutuksen kehittämistä koskevan kannanoton, ja nytkin lausunnon lopussa on tuotu esiin huoli uusien osaajien koulutuksen turvaamisesta tulevaisuudessa.

## Lisärakentamisen tarve tuodaan esille

Lausunnossa tuodaan toki myös esille ydinvoiman lisärakentamisen tarve. Lausunnossa hakijoita käsitellään tasaveroisesti, ja ydinvoiman lisärakentamisen tarpeeseen viitataan arvovaltaisen Energy Visions 2050 -julkaisun kautta. Perusteluissa esitetyt energiapolitiittiset tavoitteet ovat yhteiskunnassa yleisesti hyväksytyjä ja ainoastaan keinoista niihin pääsemiseksi eli siitä missä suhteessa tarvitaan lisää ydinvoimaa ja uusiutuvia vallitsee erilaisia näkemyksiä.

ATS:n lausunnossa todetaan hakemusten olevan hyvin perusteltuja. ATS:n yhtenä keskeisenä sanomana halutaan lausunnolla

viestittää, että ydinvoimalaitostoiminnan turvallisuuden varmistamiseen on Suomessa käytettävissä korkeatasoinen asiantuntemus.

## Alan kehityksen edistäminen kuuluu seuran tehtäviin

ATS:n tehtävänä on sääntöjensä mukaisesti ydintekniikan alalla tieteellisen seuran ominaisuudessa edistää alan tuntemusta ja kehitystä maassamme, toimia yhdysiteenä jäsentensä kesken kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi ottaen huomioon kaikki ne ammattikunnat, jotka ovat tekemisissä ydintekniikan kanssa, ja vaihtaa tietoja ja kokemuksia kansainvälisellä tasolla. ATS:n tehtäviin edellä mainituista säännöistä johdettuna kuuluu edistää alan kehitystä Suomessa antamalla lausuntoja, joissa ydinvoiman tärkeää roolia energiantuotannossa korostetaan sen eduilla ja painotetaan samalla korkean osaamisen ja ammattitaidon merkitystä turvallisuudelle.

Nykyinen johtokunta päätyi siis siihen, että nyt kun ATS:llä on tilaisuus hyvin perustein lausua positiivista ydinvoiman jatkorakentamisesta, seuran on tämä tilaisuus käytettävä. Olkiluoto 3 -hankkeen PAP- ja/tai rakentamislupahakemusten lausuntovaiheissa ATS oli varsin aktiivinen, sillä silloin lausuntonsa antoivat sekä ATS kokonaisuudessa, että sen naisten työryhmä Energiakanava, nuorten työryhmä Young Generation ja ATS-Seniorit.

*Suomen Atomiteknillinen Seura ry:n johtokunta*

## Päätoimittajan kommentti

**L**ehden kakkosivun alalaidasta löytyy muistutus: "Lehdessä julkaistut artikkelit edustavat kirjoittajien omia mielipiteitä, eikä niiden kaikissa suhteissa tarvitse vastata Suomen Atomiteknillisen Seuran kantaa." Sama pätee myös käänteisesti: Suomen Atomiteknillisen Seuran kannan ei välttämättä kaikissa suhteissa tarvitse vastata jokaisen sen yksittäisen jäsenen kantaa.

ATS:n jäsenistöstä löytyy henkilöitä, jotka eivät omalla nimellään allekirjoittaisi käsillä olevaa kannanottoa. Erityisesti seuran kuuluvien ydinturvallisuusviranomaisen edustajien (n. 10 % jäsenistöstä) keskuudessa on noussut esille kysymyksiä mahdollisesta ristiriidasta puheena olevan kannanoton ja riippumattoman, energiapolitiikkaan kantaa ottamattoman ydinturvallisuusyhteyden välillä. Tämän vuoksi on syytä pitää mielessä edellä todettu itsestäänselvyys: kollektiivisesti ilmaistu kanta on keskiarvo kaikkien jäsenten kannasta, ja ATS:n jäsenprofiilin

huomioon ottaen kannanotto ydinvoiman merkittävän lisärakentamisen puolesta on perusteltu.

Kun ottaa huomioon toisaalta viranomaisten pienen osuuden seuran jäsenistöstä ja toisaalta ko. kannanoton pienen osuuden tieteellisen seuramme kaikesta toiminnasta, tällaisten ristiriitojen voi katsoa mahtuvan keskiarvon ympärillä tapahtuvaan normaaliin kohinaan: siitä huolimatta, että seura johtokuntansa suulla on ottanut ydinvoiman merkittävää lisärakentamista puoltavan kannan, yksittäinen, lisärakentamiseen neutraalisti tai kielteisesti suhtautuva ydintekniikan harjoittaja voi jatkossakin hyvällä omallatunnolla kuulua oman ammattialansa tieteelliseen seuran.

*Riku Mattila, ylitarkastaja  
Ydinvoimalaitosten valvonta  
STUK  
Riku.Mattila@stuk.fi*

# Suomen Atomiteknillinen Seura ry:n lausunto

## Fennovoima Oy:n, Fortum Oyj:n ja Fortum Power and Heat Oy:n ja Teollisuuden Voima Oyj:n ydinvoimalaitoshankkeita koskevista periaatepäätöshakemuksista

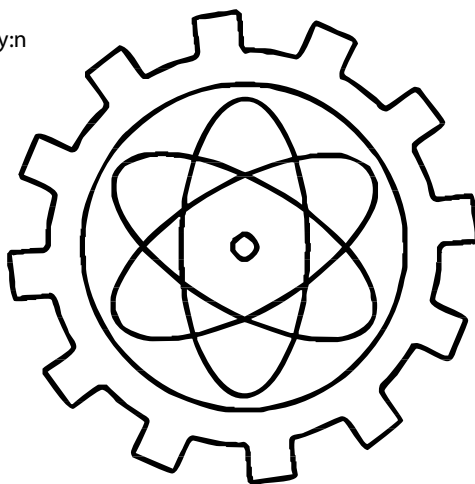
**S**uomen Atomiteknillinen Seura ry:n tarkoituksena on sääntöjensä mukaisesti ydintekniikan alalla tieteellisen seuran ominaisuudessa edistää alan tuntemusta ja kehitystä maassamme, toimia yhdyssiteenä jäsentensä kesken kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi ottaen huomioon kaikki ne ammattikunnat, jotka ovat tekemisissä ydintekniikan kanssa ja vaihtaa tietoja ja kokemuksia kansainvälisellä tasolla.

Seuran noin 600 jäsenestä pääosa toimii ydinenergia-alalla (mm. voimayhtiöt, viranomaiset, tutkimuslaitokset, korkeakoulut) ja mahdolliset periaatepäätökset koskettavat monella tavalla seuran jäsenistöä.

Tästä syystä Suomen Atomiteknillinen Seura ry on katsonut aiheelliseksi antaa oman lausuntonsa, vaikka Suomen Atomiteknillinen Seura ry ei kuulu niihin lausuntopyynnössä 49/815/2009 mainittuihin yhteisöihin, joilta ministeriö on pyytänyt lausuntoa.

Suomen Atomiteknillinen Seura ry korostaa, että sen kannotto koskee tasavertaisesti kaikkia mainittuja periaatepäätöshakemuksia ja niissä esitettyjä laitosvaihtoehtoja ja sijoituspaikkakuntia.

Suomen Atomiteknillinen Seura ry pitää kaikkia mainittuja periaatepäätöshakemuksia hyvin perusteltuina. Ydinvoiman merkittävä lisärakentaminen on tarpeen, jotta voitaisiin täyttää ennustettu energiantarve tulevina vuosikymmeninä (lähde VTT:n julkaisema Energy Visions 2050 -kirja) vähentäen voimakasta riippuvuuttamme tuontisähköstä, korvaten poistuvaa hiilidioksidipäästöjä aiheuttavaa voimalaitoskantaa hiilineutraalilla ydinenergialla ja samalla helpottaen Suomelle asetettujen energiantuotannon päästöjen vähentämistavoitteiden toteutumista.



Suomen nykyisten käytössä olevien laitteiden käyttökertoimet ovat kansainvälisissä maakohtaisissa vertailuissa olleet pitkään maailman korkeimmat. Laitosten käytöstä vastaa osaava ja kokenut henkilökunta ja laitteiden käyttöä hallitaan ja jatkuviin parannuksiin on panostettu ja panostetaan jatkossakin (mm. Loviisassa meneillään olevat mittavat automaatiouudistukset). Ydinpolttoaineen loppusijoituksen osalta edetään eduskunnan periaatepäätöksen mukaisesti. Suomessa ydinenergian käyttöä valvovien viranomaisten osaaminen on korkealla tasolla ja viranomaisilla on kyky puuttua turvallisuutta mahdollisesti vaarantaviin seikkoihin rivakasti, kuten Olkiluoto 3 -laitoksen rakennustyön aikana on havaittu.

Suomen ydinenergiatutkimus on arvioitu kansainvälisesti korkeatasoiseksi, ja Olkiluoto 3 -laitoksen periaatepäätöksen jälkeen uusien ydinenergia-alasta kiinnostuneiden opiskelijoiden joukko on kasvanut tasaisesti, joten uusia osaajia on saatavilla eläköityvien asiantuntijoiden tilalle.

Suomen Atomiteknillinen Seura ry korostaa myös uusien periaatepäätösten yhteydessä uusien osaajien koulutuksen merkitystä ja toistaa aiemman 24.10.2008 päivätyn työ- ja elinkeinoministeriölle, opetusministeriölle ja sosiaali- ja terveysministeriölle osoitetun koulutuksen kehittämistä koskevan kannannon mukaisesti tarvetta kiinnittää huomiota riittävän ja korkeatasoisen ydintekniikan ja ydinfysiikan sekä säteilyn käytön opetuksen ja koulutuksen toteutumiseen maassamme. ■

Suomen Atomiteknillinen Seura ry  
Eija Karita Puska  
Suomen Atomiteknillinen Seura ry:n puheenjohtaja

## Introduktionen av kärnkraften i Finland



Reaktortanken i verkstaden i Varkaus.

**M**in avhandling beskrev introduktionen av kärnkraften i vårt land med fokus speciellt på den inhemska verkstadsindustrins roll. Introduktionen var en långt utdragen och komplicerad process som inleddes i medlet av 1950-talet och avslutades i medlet av 1980-talet. Denna process indelas i avhandlingen i olika perioder som refereras nedan, varefter de viktigaste följderna av introduktionen listas.

### PRELUDIUM 1

**FÖRENTA NATIONERNAS** första atomkonferens i Genève hösten 1955 påverkade utvecklingen världen över. Konferensen inverkade klart på deltagarnas uppfattning om kärnteknikens möjligheter. Finlands delegation under ledning av professor Laurila utgjorde inget undantag. Konferensen fick därmed en icke ringa betydelse för utvecklingen även i vårt land. Industrin, såväl den

statliga som den privata, reagerade starkt, till en början med tanke på ökad utbildning inom området, men senare även genom att starta ett förberedande arbete för att kunna bygga kompletta kärnkraftverk.

### PRELUDIUM 2

**SKOGSINDUSTRIN VAR** en storförbrukare av elenergi och blev naturligt nog intresserad av att närmare studera kärntekniken. I april 1956 grundades Voimayhdistys Ydin med avsikt att sätta fart på utvecklingen. Föreningen beslöt donera en exponentialmila till Tekniska högskolan, något som innebar att Ahlströms verkstadsindustri fick i uppdrag att tillverka milan. Den invigdes i Otnäs 1958 med president Urho Kekkonen närvarande.

### PRELUDIUM 3

**ATOMENERGIKOMMISSIONEN MED Erkki Laurila** som ordförande tillsattes 1957 på förslag av den s.k. Energi-kommittén. På en utställning som arrangerades i samband med den andra atomkonferensen i Genève 1958 kunde deltagarna med Erkki Laurila och Pekka Jauho i spetsen bese den av General Atomic utställda TRIGA-reaktorn. Handels- och industriministeriet beställde denna forskningsreaktor 1958, varefter General Atomics dotterbolag Holmes & Narver i sin tur placerade en underleveransorder på hela reaktorn, exklusive reaktorhård och styrning, hos Ahlström. Författaren var även i detta fall säkerhetsansvarig för tillverkningen. Reaktorn invigdes högtidligen samma år vid Tekniska högskolan i Otnäs, varvid *president Kekkonen* hedrade evenemanget med sin närvaro.

### PRELUDIUM 4

**DEN 24** januari 1966 grundade åtta bolag ett konsortium med namnet Suomen Atomiteollisuusryhmä-Finlands Atomindustrigrupp som 1969/1970 ombildades till Oy Finnatom Ab. Tkl. *Uolevi Luoto* blev dess första VD. Författaren fungerade som bolagets VD 1975 - 2001. Det konstituerande mötet för Industrins El-Konsortium hölls även 1966. Bolaget ombildades till Oy Teollisuuden Voima-Industrins Kraft Ab, TVO, 1969. Diplomingenjör *Magnus von Bonsdorff* utnämndes till TVO:s vice VD 1970 och till VD följande år.

## LOVISA OCH OLKILUOTO

**DEN PRIVATA** industrin hade planer på att bygga ett kärnkraftverk på 300 MWe. Kekkonen gav dock Lovisa förtur, varför projektet lades vilande. I juli 1965 postade Imatran Voima en offertförfrågan på ett kärnkraftverk med effekten 300 MWe.

**MEDAN ETT** flertal företag i väster inkom med offert överlämnade Sovjetunionen endast ett till Finlands regering riktat memorandum. Sovjet var berett att delta i ett samarbete som hade som mål att bygga ett kärnkraftverk med effekten 400 MWe. Imatran Voima ville beställa verket från väster, men fick ej grönt ljus av vår politiska ledning.

Den sovjetiska konstruktionen uppvisade dock säkerhetsmässiga brister. Sedan vår industri förklarar sig kapabel att avhjälpa dessa brister och Technopromexport inlämnat en konkurrenskraftig offert beställdes Lovisa 1969. TVO kunde nu agera fritt och beställde Olkiluoto 1 och 2 av Asea-Atom 1973 resp. 1974. Finnatom fick betydande order för dessa stationer.

## INTRODUKTIONENS FÖLJDER

**INDUSTRIN FICK** billig elkraft, dess tekniska nivå höjdes, sysselsättningen steg, koldioxidutsläppen minskade, Nokias föregångare, Nokia Elektronik, liksom Finnatom, Termeca, Perusvoima, Posiva och Strålsäkerhetscentralen grundades.

Men Tjernobyli bromsade utvecklingen tills Olkiluoto 3 beställdes år 2003.

6		<b>FINNATOM</b>
<b>4. Referenssit</b>		
		Alla on yrityskohtaisesti luettelut toimitettuja tyypillisiä laitteita ja järjestelmiä. Jäljempänä on taulukkomuodossa esitelty, mihin laitteisiin toimituksia on ollut.
AHLSTRÖM		pääkiertopumput, merivesipumput, järjestelmäpumput sekä lämmönsäilytimet
ALNOR		henkilödosimetrijärjestelmät, säteilyvalvontalaitteet, kannettavat dosimetrit
GRÖNROOS		lineriturpiinilauhduttimet ja jäähdyttäjät, typpisiliöt, jäähdytysveden seula, SS- ja muoviputkistot
HUBER		höyry- ja syöttöveden putkistot, turpiini- ja turpiinirakennuksen putkistot, turpiinilaitoksen vedenkäsittelyputkistot
JA-RO		allasverhoilu, höyrynerottimet, syöttövesirengas, polttoaineen varastotelineet, prosessiputkisto
KALMERI		pääkiertopumpun tiivistevesi- ja jäähdytysjärjestelmän putkistot, öljy-, lämmitys-, jäähdytys-, pesu- ja sammutusveden putkistot
KONE		reaktori- ja turpiinihallinosturit, polttoaineenkäsittelynosturi, muut tehdasnosturit
NELES		pallo- ja kuristusventtiilit
NOKIA		koulutussimulaattorit, laite- ja tietokoneet, monikanavalaskimet
ONNINEN		mittaus- ja säätöputkistot, pääkiertopumpun tiivistevesi- ja moottorin jäähdytysjärjestelmän putkistot, hätäjäähdytysjärjestelmä, paineilmaputkisto
RAUMA-REPOLA		merivesilämmönsäilytimet
ROSENLEW		kosteudenerottimen rungot, erikoistyökälyt, pilot, evaporaattorilaitos nestemäisille jätteille
SUOMEN PUHALLINTEHDAK		valvottujen ja ei valvottujen alueiden ilmastointijärjestelmät
SÄHKÖLÄNTTEENMÄKI		sähköasennukset ja prosessi-instrumentointi
TAMPPELLA		hidastussiliöt + -kansi, säätösauvan ohjausputket, säätösauvakäyttökojeiston rungot, ohjaus- ja mittäputket, säteilysojalevyt, lämmönsäilytimet, turpiinivaipat, jäähdytysveden sisäänottoluukut
TEHDASPUTKITUS		putkistot ja kannakkeet
VALMET		valvottujen alueiden ilmastointi polttoaineenkäsittely- ja vaihtokoneet, huoltosillat, altaiden portit ja raamit, erikoistyökälyt, allasvarusteet, polttoaineenvarastotelineet
VÄRTSILÄ		teräsuojakuoret, jäählauhduttimet, läpiviennit, henkilö-, hätä- ja materiaalisulut, polarireaktori- ja turpiinihallinosturit, venttiilit

*Den inhemska industrins leveransmöjligheter, resurser och intresse med tanke på Lovisa 3: referenslista (1982).*

TkD Daniel Jäfs  
daniel.jäfs@hotmail.com



## Nopeiden reaktorien neutroniikan simulointi

**N**eljännän sukupolven reaktorit ovat uusia reaktorikonsepteja, joita suunnitellaan kaupalliseen tuotantoon vuoteen 2030 mennessä. Näistä kuudesta konseptista yhteensä kolme on tyypiltään nopeita hyötöreaktoreita, joissa neutroneja ei hidasteta eli moderoida kuten lähes kaikissa nykyisissä ydinvoimalaitoksissa.

**NOPEAT REAKTORIT** ovat varteenotettava vaihtoehto vastaamaan ydinvoiman ongelmakohtiin tulevaisuudessa. Pitkäikäisiä aktinideja voidaan transmutoida vaarattomampaan muotoon, jolloin käytetyn polttoaineen aktiivisuustaso loppusijoituksessa laskee huomattavasti nopeammin kuin ilman transmutointia.

Lisäksi luonnonuraanissa runsaasti esiintyvistä isotoopista U-238 voidaan hyötää uutta polttoainetta nopeiden reaktorien avulla. Tämä mahdollistaisi uraanipolttoaineen riittävyden jopa tuhansiksi vuosiksi nykyisellä kulutustasolla.

**TOISAALTA NOPEAT** reaktorit sisältävät myös merkittäviä teknisiä haasteita. Vesi moderoi neutroneja tehokkaasti, joten vaihtoehtoisia jäähdyteratkaisuja tarvitaan. Jäähdytteiksi on suunniteltu erilaisia nestemetalleja ja kaasuja, jotka luonnollisesti sisältävät omat toteutukselliset kysymyksensä.

Nestemettalien käyttö jäähdytteenä ei kuitenkaan ole täysin uusi konsepti, sillä tälläkin hetkellä maailmassa on käytössä muutama nestemettalijäähdytteinen reaktori mm. Japanissa ja Venäjällä.

**UUSIA REAKTORITYYPPEJÄ** kehitettäessä on tärkeää, että reaktorin toiminta on mahdollisimman turvallista voimalaitoksen eri käyttövaiheissa. Näin ollen validoidut simulointiohjelmistot reaktorien toiminnan arviointiin ovat välttämättömiä.

Nykyisille kevytvesireaktoreille käytetyt neutroniikan laskentakoodit eivät kuitenkaan sellaisenaan sovellu nopeiden reaktorien toiminnan simulointiin.

Eryteisesti laskentamalleissa usein käytetty neutroniikan jako kahteen energiaryhmään, nopeaan ja termiseen, ei ole riittävän tarkka. Nopeiden reaktorien tapauksessa

simuloinnissa tarvitaan jopa kymmeniä energiaryhmiä realististen laskentatulosten mahdollistamiseksi.

**NOPEIDEN REAKTORIEN** simulointia varten diplomityössä kehitettiin APROS-ohjelmiston neutroniikkakoodiin laskentamalli, joka ratkaisee neutronien käyttäytymistä kuvaavat 3D-moniryhmädiffuusioyhtälöt heksagonaaligeometriassa. Reaktorisydän jaetaan polttoaineriippujen mukaisesti erillisiin laskentakoppeihin, noodeihin, joissa kussakin neutronien keskimääräinen käyttäytyminen ratkaistaan iteratiivisesti. Ratkaisumenetelmä perustuu neutronien etenemistä kuvaavien osittaisvirtausten määrittämiseen noodien välillä responsimatriisiyhtälöiden avulla. Näin laskettua neutroniikkaratkaisua hyödynnetään sydämen tärkeimpien parametrien määrittämisessä.

**LASKENTAMALLIN VALIDOINNISSA** hyödynnettiin Large Core Code Evaluation Working Group -projektin (LCCEWG) laskennallisen kokeen tuloksia. Koe simuloi teholtaan 1200 MWe:n natriumjäähdytteisen nopean reaktorin toimintaa. Polttoaine- ja materiaaliominaisuuksia kuvaavien vaikutusalojen ja kokeen vertailudatan laskennassa käytettiin VTT:llä kehitettyä Monte Carlo -menetelmään perustuvaa Serpent-koodia. APROS-mallin laskentatulokset vastasivat hyvin sekä LCCEWG-projektin osallistujien että Serpentin laskettuja tuloksia. Tulevaisuudessa vertailua tehdään myös muihin deterministisiin nodaalimenetelmiin perustuviin koodeihin.

**MALLI SISÄLTÄÄ** tällä hetkellä ainoastaan stationääritilan ratkaisumahdollisuuden. Tarkoituksena on kehittää mallia siten, että myös ajasta riippuvia ongelmia voidaan simuloida. Lisäksi mahdollisuus määrittää laskentageometria neliohlassa kuuluu tulevaisuuden kehityssuunnitelmiin. ■

DI Pasi Inkinen  
Tutkija  
VTT Ydinenergia  
pasi.inkinen@vtt.fi



# TAPAHTUMAKALENTERI

## ATS SYYSSEMINAARI

5.11.2009 Hotelli Linnassa, Helsingissä.

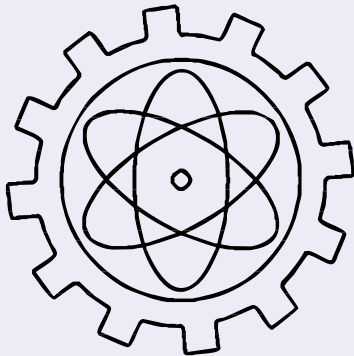
Kutsu jäsenpostissa.  
Lisätietoja ja ilmoittautumiset: Malla Seppälä  
malla.seppala@vtt.fi

## ATS ekskursio 6.-14.11.2009 Etelä-Korea

Tutustumisia ja vierailuja Soulin ja Busanin alueella.

Kutsu ja ohjelma jäsenpostissa syyskuun alussa.  
Lisätietoja ja ilmoittautumiset: Jani Pirinen  
jani.pirinen@fortum.com

Lisätietoja kaikista ATS:n tapahtumista  
löytyy internetistä: [www.ats-fns.fi](http://www.ats-fns.fi)



## UUDISTUNUT TIETOJENMUUTOSLOMAKE

ATS:n www-sivuilla oleva osoitteenmuutoslomake  
<http://ats-fns.fi/info/yhteystiedot.html>  
on uudistunut kattamaan kaikki jäsenrekisterin tiedot.

Nykyisin lomakkeessa kysytään nimen, osoitteen, kotipaikkakunnan ja sähköpostiosoitteen lisäksi tutkinto, työnantaja ja tehtävänimike.

Uudistuksella pyritään saattamaan ATS:n jäsenrekisteri ajantasalle kaikkien tietojen osalta. Aikaisemmin työnantajatietoja on kysytty ainoastaan jäsenhakemuksessa, minkä vuoksi jäsenrekisterissä saattaa olla monen kohdalla vanhentunutta tietoa.

# JÄSENET

## UUSIA JÄSENIÄ

### Opiskelijajäsenet:

- Kai Hämäläinen, STUK
- Johanna Nykopp, Wärtsilä Power Plants
- Mika Bäckström, STUK
- Ari Maarni, TVO

Suomen Atomiteknillisessä Seurassa oli 6.10.2009 pidetyn johtokunnan kokouksen jälkeen 567 varsinaista jäsentä ja 37 opiskelijajäsentä. Kunniajäseniä oli 11 ja kannatusjäseniä 19.

Seuran jäseneksi pääsee johtokunnan hyväksymällä hakemuksella. Hakemukseen tarvitaan kahden jäsenen suositus.

ATS:n jäsenhakemus internetissä:  
<http://www.ats-fns.fi/info/jasenhakemus.html>

## ATS YDINTEKNIIKAN VANHAT NUMEROT NÄHTÄVILLÄ VERKOSSA

ATS Ydintekniikan kansien välissä on julkaistu jo lähes 40 vuoden ajan artikkeleita, joista toiset tarjoavat mielenkiintoisia ajankuvia, toiset puolestaan vaikuttavat olevan aina yhtä ajankohtaisia. Merkittävää osaa julkaistusta tiedosta ei enää ole helposti saatavissa muista lähteistä. Ensimmäisenä askeleena tämän "perimätiedon" säilyttämiseksi ATS Ydintekniikassa on ryhdytty aina sopivan tilaisuuden tullen julkaisemaan uudestaan yksittäisiä lehden teemaan sopivia vanhoja artikkeleita.

Seuraavana askeleena lehdet numerosta 4/1979 eteenpäin on nyt skannattu ja saatettu nähtäville osoitteessa <http://www.ats-ydintekniikka.fi/lehtiarkisto/>. Tulevaisuuden etappeina prosessissa toivottavasti on vielä puuttumaan jääneiden lehtien skannaus sekä jo skannattujen, mutta virheitä tai puutteita sisältävien numeroiden skannaaminen uudestaan. Lopullisena tavoitteena on saada ainakin lehtien sisällysluettelot sellaiseen muotoon, että niistä voisi hakea artikkeleita tekstihakua käyttämällä.

Jos joku lukijoista on kiinnostunut auttamaan tässä tiedonhallintahankkeessa, halukkuutensa voi tuoda esille ottamalla yhteyttä toimituskuntaan. Yhteystiedot löytyvät lehden sivulta 2.

SUOMEN  
ATOMITEKNILLINEN  
SEURA —

ATOMTEKNISKA  
SÄLLSKAPET  
I FINLAND ry



Palautus  
**Suomen Atomiteknillinen Seura**  
c/o VTT (Tietotie 3, Espoo)  
PL 1000  
02044 VTT

## **Kannatusjäsenet**

Alstom Finland Oy  
Fennovoima Oy  
Fortum Oyj  
Patria Finavitec Oy  
Platom Oy  
Pohjolan Voima Oy  
Posiva Oy  
PRG-Tech Oy  
Pohjoismainen Ydinvakuutuspooli  
PrizzTech Oy  
Rados Technology Oy  
Saanio & Riekkola Oy  
Siemens Osakeyhtiö  
Teollisuuden Voima Oyj  
TVO Nuclear Services Oy  
Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT  
Voimaosakeyhtiö SF Oy  
Wärtsilä Finland Oy  
YIT Installaatiot

## **ATS internetissä:**

<http://www.ats-fns.fi>