

ATS

YDINTEKNIikka

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA —

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



1/2005

vol. 34



Tässä numerossa

Pääkirjoitus	
Odotellessa	3
Editorial	
Waiting	4
UUTISIA	5
SAFIR-puoliväliseminaari	6
Fuusio: mitä, missä, milloin?	7
Fuusioreaktori etsii muotoaan	10
Som finländsk fusionsforskare ute i världen	14
Ydinvastuujärjestelmä uudistuu	16
TV0:n uusien kunnossa- pitäjien koulutus ja perehdytys	18
Vuosikokouksen 2005 kuulumisia	20
KOLUMNI	
Projekti rullaa – ennakkolaskuja hoidellaan	22
TAPAHTUMAKALENTERI	
ja seuran uudet jäsenet	23

ATS

1/2005, vol. 34

JULKAISIJA

Suomen Atomiteknillinen Seura –
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

ATS WWW

<http://www.ATS-FNS.fi>

TOIMITUS

PÄÄTOIMITTAJA

DI Kai Salminen
Fortum Nuclear Services Oy
PL 10, 00048 Fortum
p. 010 453 3093
kai.salminen@fortum.com

TOIMITUSSIHTEERI

Minna Rahkonen
Fancy Media Ky
Uusi Porvoontie 857
01120 Västerskog
p. 0400 508 088
fancymedia@saunalahti.fi

ERIKOISTOIMITTAJA

TkT Eija Karita Puska
VTT Prosessit
PL 1604, 02044 VTT
p. 020 722 5036
eija-karita.puska@vtt.fi

ERIKOISTOIMITTAJA

TkL Jarmo Ala-Heikkilä
Teknillinen korkeakoulu
PL 2200, 02015 TKK
p. (09) 451 3204
jarmo.ala-heikkila@hut.fi

ERIKOISTOIMITTAJA

DI Riku Mattila
Säteilyturvakeskus
PL 14, 00881 Helsinki
p. (09) 7598 81
riku.mattila@stuk.fi

ERIKOISTOIMITTAJA

DI Olli Nevander
Teollisuuden Voima Oy
27160 Olkiluoto
p. (02) 8381 3220
olli.nevander@tvo.fi

JOHTOKUNTA

PUHEENJOHTAJA

DI Antti Piirto
TVO Nuclear Services Oy
27160 Olkiluoto
p. (02) 838 11
antti.piiro@tvo.fi

VARAPUHEENJOHTAJA

M.Sc. Lena Hansson-Lyyra
VTT Tuotteet ja Tuotanto
PL 1704, 02044 VTT
p. (09) 456 6846
lena-hansson-lyyra@vtt.fi

SIHTEERI

DI Juha Poikolainen
VTT Prosessit
PL 1604, 02044 VTT
p. 020 722 5057
juha.poikolainen@vtt.fi



Kannen kuva:

Seppo Brodtkin
tahdistaa Olkiluoto-1:n
valtakunnanverkkoon
2.9.1978.

RAHASTONHOITAJA

DI Hanna Virlander
Teollisuuden Voima Oy
27160 Olkiluoto
hanna.virlander@tvo.fi

DI Harriet Kallio

Fortum Power and Heat Oy
PL 100, 00048 Fortum
p. 010 453 2463
harriet.kallio@fortum.com

TkT Risto Tarjanne

Lpr teknillinen yliopisto
PL 20, 53851 Lappeenranta
p. (05) 621 2776
risto.tarjanne@lut.fi

Ronnie Olander

Säteilyturvakeskus
PL 14, 00881 Helsinki
p. (09) 7598 8668
ronnie.olander@stuk.fi

MUU TOIMINTA

YLEISSIHTEERI

Liisa Hinkula
VTT Prosessit
PL 1604, 02044 VTT
p. (09) 456 5097
liisa.hinkula@vtt.fi

KANSAINVÄL. ASIOIDEN SIHT.

DI Petra Lundström
Fortum Nuclear Services Oy
PL 10, 00048 Fortum
p. 010 453 5422
petra.lundstrom@fortum.com

YOUNG GENERATION

DI Atte Helminen
VTT Tuotteet ja tuotanto
PL 1301, 02044 VTT
p. 020 722 6447
atte.helminen@vtt.fi

ENERGIAKANAVA

TkT Karin Rantamäki
VTT Prosessit
PL 1604, 02044 VTT
p. 020 722 6376
karin.rantamaki@vtt.fi

EKSKURSIOSIHTEERIT

Tekn. yo Pekka Nuutinen
Lpr teknillinen yliopisto
pekka.nuutinen@lut.fi

Tekn. yo Anu Turtiainen

Lpr teknillinen yliopisto
anu.turtiainen@lut.fi

VUODEN 2005 TEEMAT

1/2005
Nuoret ja fuusio

2/2005
OL3 rakentaminen

3/2005
Tutkimus

4/2005
Ekskursio Venäjälle

ILMOITUSHINNAT (mv.)

1/1 sivua 500 €
1/2 sivua 360 €
1/4 sivua 240 €

TOIMITUKSEN OSOITE

ATS Ydintekniikka
c/o Kai Salminen
Fortum Nuclear Services Oy
PL 10, 00048 Fortum
p. 010 453 3093
telefax 010 453 3403

Osoitteenmuutokset
pyydetään ilmoittamaan
Liisa Hinkulalle /
VTT Prosessit
telefax (09) 456 5097
e-mail: liisa.hinkula@vtt.fi

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

ISSN-0356-0473



Painotalo Miktör Ky

ODOTTELLESSA



Odotellessa

Niin me nuoret kuin varttuneemmatkin fuusiotutkijat olemme toista vuotta odottaneet päätöstä ITER-koreaktorin sijoituspaikasta. EU:n (Cadarache, Ranska) ja Japanin (Rokkasho) välinen kiista sijainnista on muodostunut pullonkaulaksi ja viivyttää niin partnerien välisen toimeenpanosopimuksen allekirjoittamista kuin rakennusluvan hakemista. Itse laitoksen tekninen suunnittelu on ollut valmis jo hyvän aikaa.

Viime kuukausina EU on lisännyt painetta nopean sijoituspaikkapäätöksen aikaansaamiseksi. Esillä on ollut mm. ITERin rakentaminen omin päin Cadaracheen halukkaiden partnerien kanssa, ellei sovintoa synny. Näiden lausuntojen jälkeen Japanin leiristä, lähinnä Yhdysvalloista, on kuulunut ivallista huomauttelua EU:n suuntaan: kuka uhoakaan ratkaisevansa maailman ongelmat täsmälleen itse haluamallaan tavalla?

Japani on korostanut, että neuvotteluilla ei ole takarajaa. Kymmenien vuosien projektissa muutaman kuukauden viivytys on hyvinkin siedettävä, jos sen ansiosta päädytään parhaaseen mahdolliseen sijoituspaikkaan (lue: Rokkasho). Toki EU:n kiirehtimisen taustalla on hyviä syitä: Fuusiotutkimuksen rahoitus on puiteohjelmittain katkolla, ja päättäjien usko EU:n fuusio-ohjelmaa kohtaan joutuu sitä lujemmille, mitä hitaammin ITER-hanke etenee.

Sijoituspaikkapäätöksestä lukien rakennuslupa on odotettavissa kolmen vuoden kuluttua ja ensimmäinen plasma noin 11 vuoden kuluttua. Monivaiheinen koeohjelma edennee sen jälkeen niin, että merkittäviä johtopäätöksiä ITERin tuloksista voidaan tehdä kaukana 2020-luvulla. Mikäli ITER saavuttaa tärkeimmän tavoitteensa eli osoittaa fuusiovoimalan olevan teknisesti toteuttamiskelpoinen, koittaa aika rakentaa demovoimala ja kytkeä se verkkoon vuoden 2040 tietämällä.

Vaikka ITERin tavoitteet kohdistuvat merkittävien globaalien ongelmien ratkaisemiseen, sen budjetti on pikemminkin kansallista suuruusluokkaa. Sotatavarakaupasta 4,5 miljardilla eurolla saisi yhden modernin lentotukialuksen. Tässä valossa hankkeen saama huomio on kiitettävän runsasta.

Millaiset ovat nuorison tunnelmat fuusion alalla? Euroopalaiseen tutkimusohjelmaan osallistuneena voin sanoa, että useimpia nuoria fuusiotutkijoita motivoi voimakas halu olla mukana ratkaisemassa ihmiskunnan suurinta ongelmaa. ITERin tilanne kuitenkin heijastuu monen arkeen epävarmuutena lähivuosien ja jopa -kuukausien työ- ja rahoitustilanteesta. Odotammekin kaihoisasti, että poliittiset pelit saadaan päätökseen, jolloin meille aukeaa tilaisuus puurtaa seuraavan neljännesvuosisadan ajan määrätietoisesti eteenpäin. ■

EDITORIAL

WAITING

Waiting

We youngsters as well as more experienced fusion researchers have been waiting for the decision on the site for the ITER reactor for more than a year. The EU (Cadarache, France) and Japan (Rokkasho) are arguing over where to build ITER, delaying the implementing agreement and application for the construction license. The actual design work was completed a good while ago.

During the past few months, the EU has been pushing ahead to reach a quick decision. They have e.g. proposed building Iter in Cadarache with all willing partners. Such a declaration raised sarcastic comments from Japan's supporters, mainly from the United States: Who's now blustering about solving the world's problems by oneself?

Japan underlines the fact that no deadline exists for the negotiations. In a project lasting for decades, a delay of a few months is easily tolerable if it leads to the choice of the optimal site (means: Rokkasho). On the other hand, there are good reasons behind the EU's hurry. Funding for fusion research is allocated for one framework programme at a time, and decision makers become increasingly sceptical about the European fusion programme as the ITER project is delayed.

Starting from the decision for ITER site, the construction license is expected to be granted after three years and the first plasma after about 11 years. ITER's experimental programme consists of several phases, and it will be possible to draw some significant conclusions about the results in the late 2020's. If ITER achieves its principal goal, that is, proves a fusion power plant technically viable, it will become relevant to build a demo plant to be connected to the grid around the year 2040.

Although ITER aims at solving major global problems, its budget could rather be thought as belonging to a national enterprise. In military market 4.5 billion euro is enough for one modern aircraft carrier. In this respect the project has attained excellent attention.

What is the atmosphere among young fusion researchers like? Having attended the European research programme, I can tell that participating in the solution of mankind's most severe problem is a great source of motivation for the majority of us. However, the uncertainty related to ITER is reflected in work, funding and everyday life on a yearly and even monthly timespan. Therefore we are longingly looking forward to the end of the political play, opening the road for a focused quarter-century effort.

■

Erkki Laurila -palkinto Olli J. Marttilalle

ATS:n johtokunta valitsi ATS Ydintekniikan vuoden 2004 parhaaksi artikkeliksi **Olli J. Marttilan** artikkelin "Miksi säteilyn käyttöä puolustavan asiantuntijan ja sitä vastustavan kansalaisen näkökannat eivät kohtaavat?".

Artikkelin palkitsemista ehdottanut ATS Ydintekniikan toimitus luonnehti artikkelia "älylliseksi ja hyvin kirjoitetuksi puheenvuoroksi vaikeasta asiasta, jossa on paljon hyödyllisiä näkökulmia ydinvoiman ja säteilyn julkisuuskamppailuun". Kirjoittajan pitkäaikainen valistustyö asiassa laskettiin lisäksi.

Akateemikko **Erkki Laurilan** nimeä kantava palkinto jaettiin seuran vuosikokouksessa 28.2.2005. ■



Energiakanavan ja YG:n puheenjohtajat vaihtuivat



Energiakanavan uutena puheenjohtajana aloitti vuoden 2004 lopussa TkT **Karin Rantamäki**. Karin toimii fuusioenergiatutkijana VTT Prosesseissa Otaniemessä.



Young Generationin uudeksi puheenjohtajaksi valittiin ydinryhmän keskuudesta DI **Atte Helminen**. Leipätyönään Atte tutkii ja kehittää automaatiojärjestelmiä VTT Tuotteet ja tuotannossa.



Yli 100 prosentin myllyjä 13

Maailmassa oli vuonna 2004 syyskuussa 13 ydinvoimalaitosyksikköä, jotka ylsivät 12 kuukauden keskiarvona yli 100 %:n käyttökertoimeen. Listan kärjessä on eteläkorealainen Yonggwang 3 -yksikkö 103,0 %:n kertoimella.

Suomalaisista laitoksista parhaiten sijoittui Olkiluoto 2, joka on listan sijalla 38 kertoimella 96,1 %. Olkiluoto 1 löytyy sijalta 49 (95,1 %), Loviisa 2 sijalta 85 (91,5 %) ja Loviisa 1 sijalta 143 (86,9 %) kaikkiaan 426 tilastoidun yksikön joukosta.

Kaikkien aikojen listalla Olkiluoto 1 sijottuu hienosti kahdeksanneksi 89,7 % käyttökertoimella. Kärjessä on

saksalainen Emsland 93,4 %:lla. Olkiluoto 1 on listan paras kiehtusvesilaitos, ja selvästi vanhempi kuin edellään olevat laitokset, joiden keski-ikä on vain noin 9 vuotta.

Kaikkien laitosten keskiarvon osalta Suomi on ykkösenä niin viimeisen 12 kuukauden listalla (92,4 %) kuin kaikkien aikojen listalla (87,9 %). Suomi on ollut kärjessä vuodesta 1986 lähtien kolme vuotta lukuun ottamatta.

Maailman ydinvoimaloiden käyttökertoimista raportoi Nuclear Engineering International numerossaan 1/2005. ■

SAFIR-puoliväliseminaari

Kansallisen ydinturvallisuuden tutkimusohjelman SAFIR 2003 - 2006 puoliväliseminaari järjestettiin VTT:n päärakennuksessa Otaniemessä 20.-21. tammikuuta 2005. Tiivisohjelmäinen puolentoista päivän seminaari tarjosi sekä uusinta tietoa tutkimusohjelman tulokista että mahdollisuuden tutkijoiden ja tutkimuksen loppukäyttäjien väliseen keskusteluun.

Seminaarin avasi SAFIR-tutkimusohjelman johtoryhmän puheenjohtaja Lasse Reiman Säteilyturvakeskuksesta. Ydinenergianeuvottelukunnan näkökulman kansallisen tutkimuksen tilaan esitti puheenjohtaja Rainer Salomaa TKK:lta. Molemmat avauspuheenvuorot toimivat tehokkaana katalyyttinä seminaarin keskusteluihin ja avauspuheenvuoroissa esiin tullesiin näkökohtiin mm tutkimushankkeiden välisestä kilpailusta, tutkimuksen suunnittelusta, tutkimukseen kuuluvasta riskistä, nuorten jatkuvasta koulutustarpeesta, ja tiedon siir-
rosta uusille sukupolville palattiin seminaariin loppukeskustelussa.

SAFIR-ohjelman laajuus vuonna 2003 oli 4,1 M€ ja noin 32 henkilötyövuotta. Vuonna 2005 vastaavasti 4,9 M€ ja noin 35 henkilötyövuotta. Vuoden 2005 osalta laajuudeksi otaksutaan muodostuvan noin 5,1 M€. Ohjelma oli kahtena ensimmäisenä vuotenaan tuottanut yli 200 eriteltyä tulosta, 256 julkaisua ja 11 akateemista oppinnyttä.

Tutkimusohjelman kahden ensimmäisen vuoden antia esiteltiin yhteensä 22 tieteellisessä esitelmässä. Esitelmiin oli pyritty valitsemaan yleisöä kiinnostavia uusia tutkimustuloksia eri hankkeista. Esiintyjäkaarti ulottui oman alansa kansainvälisesti arvostetuista tutkijoista ensimmäistä julkista esitelmäänsä pitäneisiin nuoriin tutkijoihin ja tutkimusharjoittelijoihin.

Seminaarin kahvitauoilla käyty keskustelu jatkui Fortumin ja TVO:n tarjoamalla buffet-illallisella ja kulminoiti seminaarin loppukeskusteluun.

KTM:n yhteyshenkilönä SAFIR-ohjelmassa toimiva yli-insinööri Jorma Aurela

juonsi osaamispaneeliksi nimetyn seminaarin loppukeskustelun, johon osallistivat SAFIR-ohjelman tukiryhmien puheenjohtajat Keijo Valtonen (STUK), Martti Vilpas (STUK), Olli Nevander (TVO), Esko Rinttilä (Fortum), Eila Järvenpää (TKK, pj. Matti Vartiainen tilalla) ja Reino Viro-lainen (STUK) sekä koulutuksen edustajana professori Rainer Salomaa (TKK).

Kysymyksen "Miten tutkimus on hyödyttänyt tukiryhmämme alueella omaa organisaatiotani ja muita osapuolia?" useimmissa vastauksissa arveltiin hyödyn jakautuneen varsin tasaisesti kaikille osapuolille. Erityisansioina mainittiin mm. lentokonetörmäysten poikkiteollinen tutkimus. Toisaalta monet korostivat sitä, että kaikki hankkeet olivat sujuneet varsin hyvin eikä suuria negatiivisia yllätyksiä oltu koettu. Vastaukset kysymykseen koko ohjelman hyödystä omalle ja muille organisaatiolle olivat paljolti samansuuntaiset.

Myös ohjelman puitteissa tapahtuneeseen uusien osaajien koulutukseen ja oppinnytteiden määrään oltiin suhteellisen tyytyväisiä. Yleisökommentti toi esiin ns. "kasvattajaseuran" aseman eli kysymyksen, pitäisikö tutkimuslaitoksille korvata uuden voimayhtiöiden tai viranomaisen palvelukseen siirtyvän asiantuntijan koulutuksesta aiheutuneet kustannukset.

Visiossaan seuraavasta tutkimusohjelmasta vuodesta 2007 eteenpäin vastaajat arvelivat ohjelman volyymin liikkuvan nykyisellä tasolla ja myös tutkimuksen keskeisten aihepiirien säilyvän, joskin eri aihepiirien painotusten otaksuttiin jonkin verran voivan muuttua ja mukaan tulla myös uusia aiheita. Toisaalta korostettiin, että ns. ydinspesifisten alueiden osalta oltiin jo

nykyisellään alarajalla, jolta ei ollut varaa tinkiä.

Ohjelman johtajan näkökulmasta

Ohjelmaa aloitettaessa uhkana oli, että mahdollisen uuden laitoksen rakennushanke veisi tutkijaresurssit ja johtaisi julkisen tutkimusohjelman pienenemiseen. Näin ei ole tapahtunut, vaan uusi hanke on tuonut alalle paljon uusia nuoria innokkaita tutkijoita ja tutkimusohjelmaan uusia haasteita, joihin on pystytty vastaamaan riittävästi.

VYR-rahoitusjärjestelyn (jossa noin 2,7 M€ SAFIR-ohjelman rahoituksesta kerätään vuosittain lakisääteisesti voimayhtiöiltä) pelättiin johtavan loppukäyttäjien kiinnostuksen vähenemiseen ns. yhteisellä rahalla tehtyyn tutkimukseen ja myös muiden rahoittajien haluttomuuteen osallistua ohjelmaan. Tässäkin uhka on kääntynyt mahdollisuudeksi. Loppukäyttäjät osallistuvat entistä aktiivisemmin työskentelyyn ohjelman johto-, tuki- ja ad hoc-ryhmissä, VTT:n rahoitusosuus on jopa hieman kasvanut ja myös muiden rahoittajien osuudet näyttävät olevan entisellään tai kasvussa.

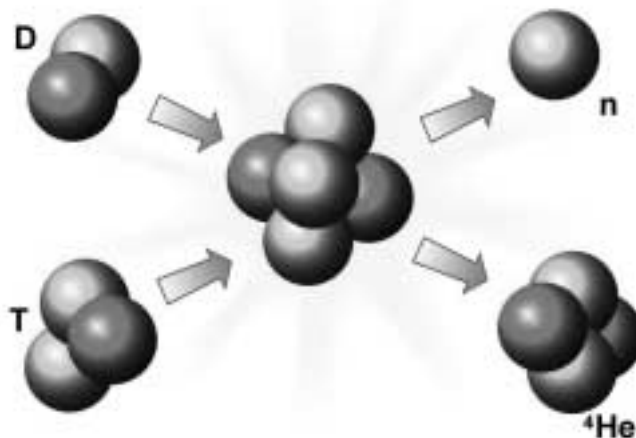
Ohjelman ydin, eli tutkimus, osoitti voimansa seminaarissa. Kolme merkille pantavaa seikkaa olivat nuorten tutkijoiden voimakas panos, poikkiteollisten hankkeiden lisääntyminen ja ohjelman kyky, rajallisten resurssien ja pitkäjänteisen tutkimuksen paineessa myös etsiä ja löytää vastauksiin uusiin ongelmiin.

■
Lisätietoa

<http://www.vtt.fi/pro/tutkimus/safir/eija-karita.puska@vtt.fi>

FUUSIO: mitä, missä, milloin?

Fuusioenergia on lupaava vaihtoehto tulevaisuuden perusvoiman tuottamiseen. Sen etuina ovat rajattomat polttoainevarat ja turvallisuus. Lisäksi polttoainejätteenä syntyy vappupalloista tuttua heliumia. Vaikeutena on monimutkaisuus. Seuraavan polven koelaitteen, ITERin, odotetaan vahvistavan fuusioenergian mahdollisuudet energiantuotantomuotona.



Fuusioreaktiossa deuterium (D) ja tritium (T) yhdistyvät tuottaen heliumia (⁴He) ja neutronin (n). Vapautuva energia on suurelta osin neutronin liike-energiaa, joka voidaan muuntaa lämmöksi ja sähköksi. Heliumin energia jää plasmaan ja ylläpitää korkeaa lämpötilaa.

Maapallon väestönkasvu ja elintason nousu aiheuttavat hyvin suuren energiatarpeen kasvun tällä vuosisadalla. Toistaiseksi maailman energiantuotanto on perustunut luonnonvaroihin, lähinnä fossiilisiin polttoaineisiin, jotka ovat miljoonien vuosien saatossa kerääntyneet maaperään. Kestävän energiatalouden tulisi kuitenkin perustua informaatiopohjaiseen energiantuotantoon, jossa käytetään olemassa olevaa ja jatkuvasti syntyvää tietoa energian tuottamiseen. Yhtenä esimerkkinä voisi mainita aurinkopaneelien tuottamisen 'hiekaista'. Kestäviä ratkaisuja

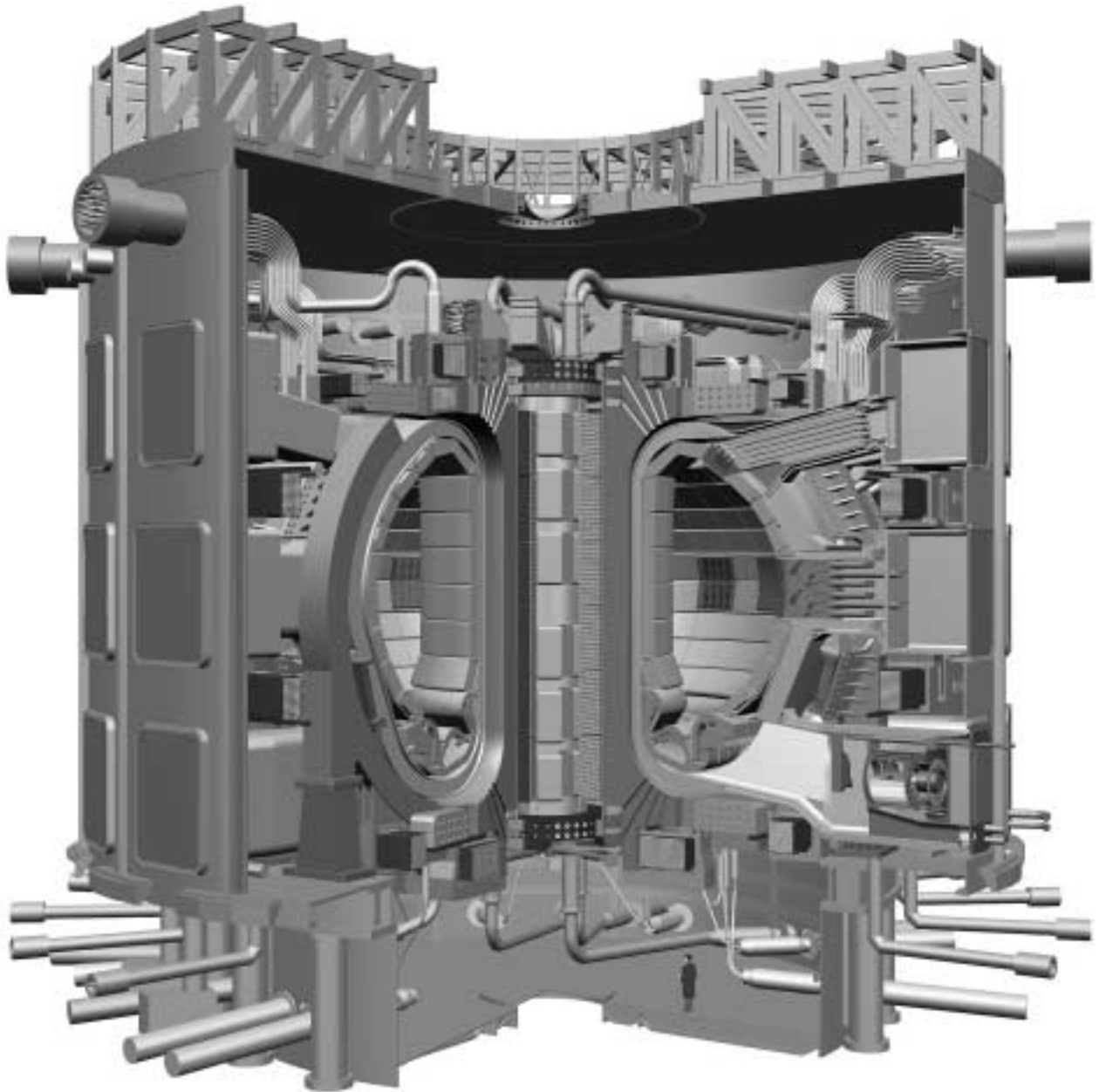
ovat uusiutuvien energialähteiden lisäksi fission ja fuusion. Näitä kaikkia tarvitaan ja niitä kutakin tulee kehittää, jotta tulevaisuuden energiatarpeet voidaan tyydyttää.

Mitä fuusioenergia on?

Fuusio on auringon ja tähtien energiaa, jossa kahden kevyen atomiytimen sulautuessa yhteen vapautuu energiaa. Ensimmäisissä fuusiolaitoksissa maan päällä primääripolttoaineena tulee olemaan deuterium ja litium. Litiumista tuotetaan voimalassa tritiumia, joka fuusioidaan

yhdessä deuteriumin kanssa heliumiksi. Tuhannen megawatin voimala kuluttaa noin 750 grammaa polttoainetta päivässä, jolloin reaktiotuotteena syntyy noin 600 gramma heliumkaasua.

Fusion ehdottomiin etuihin kuuluu käytännössä rajattomat polttoainevarat. Deuteriumia on lähes rajattomasti merivedessä ja litium on maankuoressa runsaana esiintyvä kevyt alkuaine. Fuusiolaitos ei myöskään tuota kasvihuonekaasuja, vaan polttoainejätteenä syntyy heliumia. Plasmapalao on kontrolloitava tarkasti, sillä se on herkkä erilaisille häiriöille, jotka johtavat palon sammumi-



seen. Koska palo sammuu kaikenlaisissa häiriöissä, on fuusio myös luonnostaan turvallista.

Maan päällä fuusion valjastaminen energiantuotantoon on kuitenkin osoittautunut vaikeaksi. Jotta reaktio kahden ytimen välillä voisi toteutua, ne tarvitsevat riittävän suuren energian. Noin 100 miljoonan asteen lämpötila antaa energian, joka riittää voittamaan positiivisten ytimien välillä vaikuttavan Coulombin potentiaalin. Tässä lämpötilassa polttoaine on täysin ionisoitunutta kaasua, jota kutsutaan plasmaksi. Plasma on aineen neljäs, ja itse asiassa yleisin

olomuoto, sillä yli 99 % maailmankaikkeuden materiaasta on plasmaa. Plasman kuumentamiseen käytetään tehokkaita hiukkassuihkuja tai radiotaajuusaaltoja, vähän samaan tapaan kuin mikroaaltouunissa ruokaa kuumennettaessa.

Toinen vaadittava ehto on riittävän hyvä lämmöneristys, jotta plasma pysyy riittävän kuumana. Kuuma plasma pidetään koossa ja irti seinistä voimakkaiden magneettikenttien avulla, jolloin kentät muodostavat nk. magneettisen pullon. Riittävän suuressa plasmassa vapautuu enemmän energiaa kuin tarvitaan sen kuumentamiseen ja koossapitoon. Tässä

ITER-fuusiokoevoimaloitoksen tavoitteena on osoittaa fuusion teknistieteellinen toteutettavuus ja fuusioenergian mahdollisuudet tulevaisuuden energialähteenä. ITER tulee olemaan mittavin maailmanlaajuinen tutkimushanke kansainvälisen avaruusaseman jälkeen.

suhteessa fuusio poikkeaa esim. fissiosta, koska koelaitteisto ei ole skaalattavissa: pienessä laitteessa ei voi demonstroida ja testata, kuinka suuri laite toimii.

Kaikki nykyiset koneet ovat liian pieniä todellisen fuusiopalon saavuttami-

seen. Nykyisillä laitteilla voidaan parhaimmillaan päästä tilanteeseen, jossa kuumennusteho ja vapautuva fuusioteho ovat yhtä suuret. Siten fuusioenergian tieteellinen toteutettavuus on osoitettu. Taloudellinen fuusioenergian tuotto edellyttää plasman syttymistä. Tällöin fuusiovalo ylläpitää korkean lämpötilan, jolloin ulkoinen kuumennus voidaan lopettaa.

Monimutkaisuuden lisäksi fuusioenergian haittapuolena on radioaktiivisuus, jota laitteessa on kahdessa muodossa. Ensiksikin tritium, joka on toinen fuusioitava aine, on aktiivista. Tritium syntyy väliasteena litiumista ja poltetaan stabiiliksi heliumiksi. Tämä on ikään kuin käänteinen operaatio fissionille, koska tässä tapauksessa radioaktiivinen polttoaine muuntuu stabiiliksi jätteeksi.

Toisekseen deuterium-tritium reaktiossa syntyy neutroni, joka aktivoi reaktorin seinämämateriaaleja. Tätä aktivoitumista voidaan kuitenkin merkittävästi vähentää hyvin toteutetulla materiaalivalinnalla. Näköpiirissä on ratkaisuja, jotka mahdollistavat komponenttien jälleenkäsittelyn ja kierrätyksen noin 100 vuoden kuluttua. Heikosti aktivoituvien materiaalien tutkimuksella onkin keskeinen rooli fuusiotutkimuksessa.

Kansainvälinen tutkimushanke

Fuusiotutkimusta tehdään maailmanlaajuisesti. Voisi sanoa, että kaikki maanosat ovat edes jollakin tavalla mukana tutkimustyössä. Euroopalla on tällä hetkellä johtava rooli. Myös suomalaiset osallistuvat merkittäväällä panoksella Euroopan fuusiotutkimusohjelmaan. Toisaalla tässä lehdessä on artikkeli suomalaistutkijan elämästä maailmalla.

Euroopan asemaa maailman fuusiotutkimuksen johdossa tukee se, että maailman suurin fuusiokoelaitteisto, JET, sijaitsee Englannissa Oxfordin lähellä. JETillä on myös hallussaan fuusiotehon maailmanennätys, 16 MW. JET on yh-

teiseurooppalainen koehanke, jonka toiminnassa myös suomalaiset ovat vahvasti mukana.

Kansainvälisyys on merkittävässä asemassa myös seuraavan polven koelaitteissa ITERissä, jonka sijoituspäätöstä odotellaan piakkoin. ITERin suunnittelussa ovat olleet mukana Euroopan lisäksi Japani, Venäjä ja Yhdysvallat. Kiina ja Etelä-Korea liittyivät mukaan hankkeeseen muutama vuosi sitten. Vaihtoehdot sijoituspaikalle ovat Cadarache Etelä-Ranskassa ja Rokkasho Pohjois-Japanissa.

Poliittista kädenvääntöä on käyty jonkin aikaa, sillä EU, Venäjä ja Kiina kannattavat Cadarachea ja muut Japania. Viime vuoden lopulla EU kyllästyi jähkailuun ja ilmoitti aikovansa rakentaa koelaitteen Cadaracheen riippumatta Japanin, USAn ja Korean osallistumisesta. Parhaillaan näiltä kolmelta maalta odotetaan neuvotteluvastausta tähän avaukseen.

ITER on täysikokoista voimalaitosta vastaava koelaitte, jonka tehtävänä on osoittaa fuusion teknistieteellinen toteutettavuus. Onnistuessaan se vahvistaa sen, että fuusio on todellinen vaihtoehto energiantuotannossa. ITERissä on siis jo kaikki oleelliset fuusioelementit voimalaitosta varten, mutta se ei vielä tuota sähköä.

Tavoitteena on 500 MW fuusioteho, jonka tuottamiseen tarvitaan noin 50 MW kuumennusteho, eli fuusiovahvistus on 10. Tavoitteen saavuttamiseen uskotaan vahvasti, sillä uusimpien tutkimustulosten valossa on mahdollista, että ITERin plasma jopa syttyy.

Milloin saamme fuusiosähköä?

Kysymys fuusiosähköstä on ehkä esitetyimpiä kysymyksiä. Joku on siihen vastannut, että fuusio on valmis silloin, kun sitä tarvitaan. Tällä vastaaja lienee tarkoittanut, että siinä vaiheessa, kun fuusioenergielle alkaa todella olla tarvetta, myös poliittista tahtoa ja rahaa alkaa

löytyä. Tutkimus- ja kehitystyö on kuitenkin pitkäjänteistä hommaa, eikä fuusiovoimaa polkaista käyntiin hetkessä. Seuraavat muutama kymmenen vuotta tarvitaan intensiivistä tutkimusta, mikä onkin maailmalla ja etenkin Euroopassa huomattu.

Joka tapauksessa ITERin sijoituspaikka pitäisi saada päätettyä mahdollisimman nopeasti, koska se on ensimmäinen askel kohti tuottavaa fuusiovoimaa. Sijoituspaikkapäätöksen jälkeen kuluu kuitenkin vielä noin 10 vuotta ennen kuin laite on toiminnassa. Kustannuksiltaan ITER on noin 1,5 kertaa OL3-laitos. ITERin rinnalla tarvitaan myös laajaa materiaalitutkimusohjelmaa, jotta sen jälkeen rakennettavalla DEMO-kooreaktorilla on jo käytössään voimalaitoksessa käytettävät materiaalit.

ITERin onnistuessa voi fuusioenergian toteutuminen olla hyvinkin ripeää. Seuraava vaihe on nk. DEMO, jolla on jo tarkoitus tuottaa sähköä. Fuusiovoimalaitos on palokattilaa lukuun ottamatta aivan samanlainen laitos kuin mikä tahansa muu lämpövoimala.

Voi olla, että tässä vaiheessa DEMO ja syntyikin jo useampi, eikä ITERin ja JETin kaltaisia sijoituspaikkataisteluja tarvitse käydä. Myös JETin sijoituspaikasta käytiin aikoinaan useiden vuosien neuvotteluja Euroopan sisällä.

Toivottavasti poliitikot pääsevät pikaisesti sopuun ITERin sijoituspaikasta, jotta myös seuraaviin vaiheisiin päästään vauhdilla.

TkT Karin Rantamäki
Tutkija
Energiakanavan pj
VTT Prosessit
karin.rantamaki@vtt.fi



Fuusioreaktori etsii muotoaan

Toimiva fuusioreaktori on unelma, joka kerralla ratkaisisi ihmiskunnan energiaongelmat melkein kokonaan: ideaalitapauksessa energiamuoto on lähes saasteeton, polttoainetta on rajattomasti ja laitokset olisivat luontaisesti turvallisia. Fuusioenergian hallittu vapauttaminen on valitettavasti osoittautunut ennakoitua vaikeammaksi tehtäväksi – mutta ehkä ei kuitenkaan mahdottomaksi. Tämän päivän fuusiotutkimuksessa tokamakien tieteellisten perusteiden todistamisesta ollaan siirtymässä reaktoriteknologian toimivuuden osoittamiseen. Täysimittaisia fuusiovoimalaitoksia joudumme tuki vielä odottamaan, mutta niiden alustavat teknistaloudelliset kaavailut ohjaavat jo nyt kehitystä kohti kilpailukykyisempiä ratkaisuja. Tuskinpa ensimmäisistä ilmaan räpiköivistä lentävistä koneistakaan olisi uskonut, että tänään käytössämme on satoja matkustajia maailman toiseen ääreen kuljettavia jumbojettejä.

Ensimmäiset fuusioreaktorit käyttäisivät polttoaineenaan vedyn kahden raskaan isotoopin deuteriumin (D) ja tritiumin (T) seosta. DT-seos on kuumennettava niin korkeaan lämpötilaan, että ydinreaktioita tapahtuu kyllin usein ionien törmäyksissä. Reaktiossa vapautuu 14 MeV neutroni ja 3,6 MeV alfahiukkanen eli heliumydin. Alfa jarruntuu polttoaineeseen ja ylläpitää fuusiopalon vaatimaa lämpötilaa. Neutroni hidastuu polttoainekammiota ympäröivään vaippaan, jossa se luovuttaa energiansa ja hyötää litiumista tritiumia polttoaineeksi.

Fuusioreaktorin kuuman polttoaineen tiheys on pidettävä kyllin suurena ja lämpöhäviöt riittävän pieninä, jotta nettoenergian tuotanto olisi mahdollista. Magneettiseen koossapitoon perustuvissa laitteissa plasmamuodossa oleva DT-polttoaine vangitaan voimakkailla magneettikentillä ja kuumennetaan radiotaajuuskentillä tai intensiivisillä neutraalisuihkuilla. Tällaiset ”magneettiset pulot” ovat osoittautuneet hyvin epävaikaksi ja fuusiotutkimuksen pitkän historian aikana on useimmiten törmätty ennakoimattomiin ilmiöihin, jotka ovat pysäyttäneet monen lupaavan koossapitokonseptin kehityksen. Epäuskoisimmat

ovat leimanneet koko magneettisen koossapidon idean tieteellisesti toteuttamiskelvottomaksi.

Tokamak tieteellisesti toteuttamiskelpoinen

Tämä ei onneksi pitäne paikkaansa. Fuusiotutkijoiden valtaenemmistön mukaan magneettisen koossapidon edistyksellisin laite – tokamak – on osoittautunut tieteellisesti kelvolliseksi. Tokamakissa toridaalinen ulkoinen magneettikenttä sekä polttoaineplassmassa kulkevan virran indusoima poloidaalikenttä muodostavat suljetun kenttäkonfiguraation plasman koossapitoon.

Maaailman suurin ja suorituskykyisin tokamak on Euratomin JET, joka sijaitsee Oxfordin lähellä. JET-kokeissa on ruutiinomaisesti päästy fuusiopalon edellyttämiin oloihin ja plasman ominaisuuksia on opittu säätämään reaaliaikaisesti. JET-tuloksia tukevat monilla muilla suurtokamakeilla viime aikoina tehdyt kokeet.

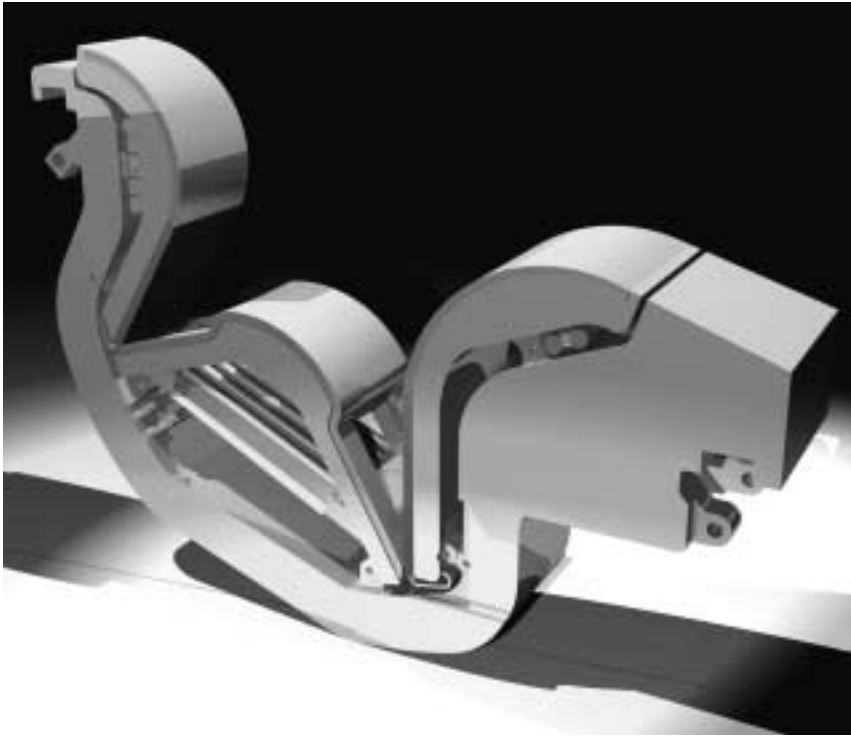
JET on ensi sijassa plasmafysiikan tutkimuslaite, jolla on selvitetty tokamakien tieteelliset perusteet. JETin magneetit ovat kuparia, minkä vuoksi plasmapurkauksien kesto rajoittuu noin minuuttiin. Plasmaa kuumennetaan JETis-

sä ulkoisesti; alfojen osuus on toistaiseksi ollut vähäinen. JET muistuttaa plasmageometrialtaan ennakoitua fuusioreaktoria eikä kokoharppauskaan reaktoritasolle enää ole kohtuuttoman pitkä. JETillä on myös tehty kokeita aidolla DT-polttoaineella: hetkellisesti maksimifuusioteho on yltänyt 16MW:iin ja jatkuvassa tilassa noin 5MW:iin.

JET-kokeissa on ylletty lähes breakeven-tilaan: arvioidun fuusiotehon ja ulkoisen kuumennustehon suhde on parhaimmillaan ollut 0,6...0,9. Fuusiopalon syttymisen vaikutus on varsin dramaattinen. JETiä seuraavassa, ensimmäisessä varsinaisessa koereaktorissa fuusioteho kohoaa jo noin 500 MW:iin. Suuri tehohyppäys johtuu siitä, että koereaktorissa alfakuumennus moninkertaistaa tehovahvistuksen.

ITER rakennetaan fuusioreaktoriteknologian koalustaksi

JETin kaltaisista suurista plasmakoneista ollaan siirtymässä seuraavaan vaiheeseen, ensimmäisiin koereaktoreihin. Tällainen on kansainvälinen ITER-hanke, jota on jo valmisteltu parisensikymmentä vuotta ja jonka toteuttamiseen on voima-



Diverttorimoduuli, joka vaihdetaan säännöllisesti vuosihuolloissa robotiikan avulla.

kas poliittinen tahto tämän päivän sijoituspaikkaa koskevasta pattiilanteesta huolimatta.

Dimensioiltaan ITER olisi noin kaksinkertainen verrattuna JETiin. Sen fuusioteho olisi noin 500 MW ja fuusiopalo kestäisi satoja sekunteja. Tehovahvistus olisi vähintään kymmenkertainen polttoaineplasman ulkoiseen kuumennustehoon verrattuna ja parhaassa tapauksessa ITERin plasma syttyisi, ts. alfateho yksinään riittäisi ylläpitämään plasman lämpötilan. Keskeisiä fuusiopalofysiikan tutkimuskohteita olisivat mm. alfatuhan poistaminen, reunaplasman ja sitä kohtaavien seinämäkomponenttien vuorovaiikutukset ja luonnollisestikin plasman optimaalisten operointimoodien etsiminen.

ITERin vaatima teknologia on hyvin vallankumouksellista nykylaitteisiin verrattuna. Koossapitomagneetit ovat suprajohdavia ja esimerkiksi kuumennuslaitteiden on oltava huomattavasti nykyisiä suorituskykyisempiä. Reaktorisydäntä lähellä olevien komponenttien on kestävä äärimmäisen ankarat olot, jotka aiheutuvat säteilystä, korkeasta lämpötilasta, magneettikentistä, tyhjästä, jne. ITER on teknologian kehitysalusta, joka vaatii poikkeuksellisen monipuolisen mitaus- ja säätölaitteiston ja useiden eri

komponenttivalintojen asentamisen valintojen tekemiseen, esimerkiksi kuumennusmenetelmien osalta. ITERillä ei tuoteta sähköä ja pääosa sen vaatimasta tritiumista ostetaan ulkopuolelta – näiden alueiden teknologia katsotaan riittävän hyvin hallituksi.

Aiemmissa fuusioteknologian kehityshankkeissa on yksittäisiä täyden skaalan ITER-komponentteja jo valmistettu. Esimerkkejä prototyypeistä on lukuisia: osia suprajohdavasta keskussolenoidista ja toroidaalimagneeteista, vakuuikammion sektori, heliumtuhan poistoon tarvittavia diverttorimoduuleita, jne. Näitä on myös osittain testattu ITERin kaltaisessa toimintaympäristössä.

Keskeinen ITERin tavoite on, täysimittaisen fuusioreaktorin komponenttien valmistuksen lisäksi, että osat kyettään integroimaan kokonaisuudeksi, joka toimii ja on huollettavissa. Kone on myös saatava ilmaan ja takaisin ehjänä kentälle – jos halutaan käyttää lentämisen historiaa analogiana.

Fuusiovoimalaan on kehitettävä uutta teknologiaa

ITER on rakennettava nykyisiä materiaaleja ja valmistusmenetelmiä käyttä-

en. Materiaalivalinnoissa on ensi sijassa kiinnitetty huomiota termomekaaniseen lujuuteen. Säteily ei ITERissä vielä ole dominoiva ilmiö. Kaupalliseen fuusio-reaktoriin ITERin monet ratkaisut ovat kuitenkin huonoja vaihtoehtoja, joilla fuusioenergian etuja ei kyetä lunastamaan. Esimerkiksi ITERin rakenneteräksiset aktivoituisivat liian voimakkaasti ja tästä aiheutuisi mittava jäteongelma.

Kaupalliseen fuusioreaktoriin on ehdotettu uusia lupaavampia materiaaleja, jotka on kuitenkin kokeellisesti ensin kelpoistettava. Aineet eivät saa aktivoitua liiaksi neutronivuossa, niiden on kestävä suuret lämpökuormat, niiden eroosion ja säteilyaurastumisen tulee olla siedettäviä, niiden on säilytettävä lujuutensa ja sitkeytensä eikä tritium saa liiaksi pidentyä pinnoille. Heikosti aktivoituvat martensiittiset teräksiset (Eurofer), vanadiiniteräksiset ja piikarbidikomposiitit ovat ehdokkaita, joiden jatkokehittäminen ja testaaminen vie kuitenkin vielä useita vuosia.

E erityisen vaativia ovat säteilytestaukset: ne olisi parhaiten tehtävissä itse fuusiokeaktorissa, jossa neutronispektri on realistisempi kuin fissioreaktoreissa: 14 MeV:n kova neutroni aiheuttaa erilaiset säteilyvauriot kuin fissioreaktorien keskimääräinen neutroni. Fissioreaktorissa (n, a)-reaktioita on vähän eikä heliumin aiheuttama materiaalin hilseilyä ja turpoamista voida tarkoin simuloida. Fuusioenergian tulemisen nopeuttamiseksi on ITERin rinnalle suunniteltu ns. IFMIF-hanketta (International Fusion Materials Irradiation Facility), jossa neutronigeneraattorina toimii nesteliumiin kohdistettu energieettisten deuteronien suihku.

E erityisen ankaraan rasiutukseen joutuvat plasmaa kohtaavat seinämät, plasma-kammion ensiseinä, ja alfatuhan poistamiseen tarkoitettu diverttori, jossa lämpökuorma keskimäärinkin voi olla luokkaa 10 MW/m² ja lyhytaikaisesti vielä tätä suurempi. Pinnoista ei saa höyryä ioneja, jotka plasmaan ajautuessaan merkittävästi kasvattaisivat lämpö-

häviöitä. Nykykoneissa käytettyjen hiili-komposiittien ongelma voi olla tritiumin pidättyminen pinnoille, beryllipinnoitteet ovat taas termomekaanisesti hyviä, mutta kalliita ja kemiallisesti hankalia. Wolframipinnoitteiden etuna on niiden kestävyys ja hyvin vähäinen eroosio.

Varsinaisten rakennemateriaalien ohella lähes kaikkia, osittain suojattujakin, reaktorisydämen läheisyydessä olevia komponentteja on kehitettävä edelleen. Säteilä, voimakkaat sähkö- ja magneettikentät sekä korkeat toimintalämpötilat asettavat suunnittelijat äärimäisten haasteiden eteen. Useissa paikoin plasman disruptiot, joissa useiden megampeerien plasmavirta tukahtuu nopeasti seinämärakenteisiin, aiheuttavat erittäin suuret mekaaniset kuormitukset. ITERissä tällaisiin ei-toivottuihin yllätyksiin on pyritty varautumaan, mutta kaupallisissa fuusioreaktoreissa niistä on päästävä tyystin eroon.

Fuusiovoimalaitoskaavailut tiennäyttäjinä

Fuusiovoimalaitoksessa sähkö tuotetaan ottamalla talteen sekä diverttorille ajautuva plasmateho että fuusiokammiota ympäröivään vaippaan kertyvä

jarruuntuvien neutronien tuottama lämpöteho ja muuttamalla se turbogeneraattorissa sähköksi. Lämmönvaihtojärjestelmät ovat samantyyppiset kuin fissioreaktoreissa. Fuusioreaktorin polttoainekierto sitävastoin on ainutlaatuinen.

Ensiseinämän ja diverttorin rakennemateriaalien ja jäähdytyksen sekä tritiumin hyötöaineen valinta ovat tekijöitä, joita optimoimalla reaktorin teknis-taloudellista suorituskykyä pyritään parantamaan. Erilaisia kombinaatioita on tutkittu 1970-luvulta saakka. Vuosien saatossa fuusiopalon kuvaus on tullut realistisemmaksi ja monilta osin reaktoriteknologiakaan ei enää ole aivan ilmassa. Voimalakaavailujen avulla on entistä realistisemmin pystytty selvittämään missä määrin fuusioenergian kohdalla kyetään geneeriset edut hyödyntämään ja samalla on viitoitettu tulevaisuuden lupaavimpia kehityslinjoja.

Taulukkoon on koottu eräitä Euratomin voimalakaavailujen perusominaisuuksia. Suomalaisetkin tutkijat osallistuivat eräisiin Tyypin A vesijäähdytteisen reaktorin turvallisuusselvityksiin. APROS-simulaatioilla mitoitettiin laitoksen turvallisuusjärjestelminä käytettävät lauhdusaltaat sekä kaasunkeräystankit. Tarkastelun kohteena oli hypoteettinen onnet-

tomuus, jossa ensiseinämä disruption seurauksena rikkoutui, jolloin vakuumikammio paineistui, murtolevyt särkyivät ja ensiseinämän jäähdytysvesi ajautui keräys-tankkeihin. Mielenkiintoista oli mm. mallintaa litium-lyijy-seoksen reaktiot vesihöyryn ja seinämämateriaalien kanssa. Näitä erikoisuuksia lukuunottamatta fuusioreaktorien turvallisuusanalyseissä nojaututaan fissiolaitoksissa käytettyihin vastaaviin menetelmiin.

Fuusio on edelleen turvallinen energiamuoto

Taulukon esittämässä voimalaitosvaihtoehtoissa ratkaisujen konservatiivisuus vähenee A:sta D:hen samalla kuin tietysti epävarmuudet plasman oletetusta käyttäytymisestä kasvavat. Ovatko näissä kaavailuissa fuusion perusedut edelleen lunastettavissa, vaikka teknisissä ratkaisuissa joudutaan turvautumaan entistä realistisimpiin valintoihin?

Osoittautuu, että tarkastelluissa tyyppitapauksissa fuusioreaktorien turvallisuus on erittäin hyvin toteutettavissa. Hyvin monia Tyypin A ja B reaktorien onnettomuusskenaarioita on analysoitu Euratom-projekteissa. Reaktorisydämessä on aina vähäinen määrä polttoainetta,

	Malli A	Malli B	Malli C	Malli D
Parametri				
Fuusioteho (GW)	5,0	3,6	3,4	2,5
Vaipan tehovahvistus	1,18	1,39	1,17	1,17
Hyötysuhde	0,31	0,36	0,44	0,6
Lisäteho (MW)	246	270	112	71
Tehon omakäyttösuhde	0,28	0,27	0,13	0,11
Diverttorin maksimikuorma (MW/m ²)	15	10	10	5
Ensiseinämän km. neutronikuorma (MW/m ²)	2,2	2,0	2,2	2,4
Isosäde (m)	9,55	8,6	7,5	6,1
Vaippa				
Rakennemateriaali	Eurofer	Eurofer	Eurofer	SiC/SiC
Jäähdyte	Vesi	Helium	LiPb/Helium	LiPb
Tritiumin hyötöaine	LiPb	Li ₄ SiO ₄ rakeet	LiPb	LiPb
Tritiumin hyötökerroin	1,06	1,12	1,15	1,12
Diverttori				
Rakennemateriaali	CuCrZr	W seos	W seos	SiC/SiC
Pintapanssari	W alloy	W seos	W seos	W seos
Jäähdyte	Vesi	Helium	Helium	LiPb
Sähköntuotto				
Sykli	Rankine	Rankine	Brayton	Brayton

aktivoituneet aineet eivät vakavassakaan onnettomuudessa pääse leviämään laajalle ja pieni aktivoitumisesta aiheutuva jälkilämmön tehoteho takaa, että rakenteet eivät sula. Vakavankaan onnettomuuden seurauksena pitkäaikaisia maankäytön rajoituksia ei synny. Tritium ei tunnetusti kumuloidu ja lisäksi sen puoliintumisaikakin on lyhyt. Arvioidut annokset laitosalueen reunoilla pysyivät sallituissa rajoissa.

Fuusiosähkön taloudellisuus?

Nykyhetken verrattuna fuusiosähkön tuotantohinta tulee olemaan varsin korkea. Fuusioenergian taloudellisissa analyyseissä on pyritty ottamaan huomioon myös ulkoiset kustannukset (terveys- ja ympäristövaikutukset, jne.). Nämä ovat huomattavasti pienemmät kuin esim. hiilellä tai jopa tuulella. Fuusioreaktori tuottaisi vähemmän pitkäikäisiä jätteitä kuin fissioreaktori. (Huom! Tässä vertailussa ITERiä ei saa käyttää fuusion referenssinä.)

Fuusioreaktori on suorilta kustannuksiltaan pääomavaltainen, hyvin monimutkainen laitos, jossa polttoainekustannuksien osuus on pieni. Fuusiosähkön hintaan vaikuttavat laitoksen käytettyvyys sekä terminen hyötysuhde.

Käyttökertoimen parantamisen edellytyksenä on, että ennakoitujen huolto- ja korjausvälijen pituus voidaan tehdä siedettäväksi. Tällä hetkellä näyttää siltä, että mikään tunnettu materiaali ei kestä fuusioreaktorin ensiseinämillä tai diverttorialueella koko reaktorin elinikää. Eräiden arvioiden mukaan ensiseinä joudutaisiin vaihtamaan viiden vuoden välein ja diverttorimodulit ehkä jopa vuosittain. Luoksepäästävyysongelmien vuoksi tehtävä on suoritettava robottien avulla. Tällaiset menetelmät on kehitettävä. Tämän hetken arvioiden mukaan fuusiovoimalan epäkäytettävyys voisi olla 20-25%, joka on paljon nykyisiin fissioliitoksiin verrattuna ja väistämättä vaikuttaa fuusiosähkön hintaan. Huomattavaa on myös, että taulukon perusteella säh-

kön omakäyttö on melkoisesti suurempi kuin fissioreakteoreissa.

Termisen hyötysuhteen kohottamiseksi fuusiovoimaloissa on ajateltu otettavan käyttöön samankaltaista teknologiaa kuin neljännen sukupolven (Generation 4) fissioreakteoreissa. Heliumjäähdytyksellä on etunsa vesijäähdytykseen verrattuna. Mm. diffundoituneen tritiumin erottaminen heliumista on vaivattomampaa kuin jäähdytysvedestä. Korkeammat lämpötilat ja esimerkiksi Brayton-sykliin perustuvien kaasuturbinien käyttö parantavat keskeisesti hyötysuhdetta ja ehkä mahdollistaisivat prosessilämmön hyötykäytön esimerkiksi vedyn tuottamiseen. Superkriittisen veden ja sulametallijäähdytysten käyttöä kannattaa myös selvittää.

Väitteet, että fuusiosähkö olisi taloudellisesti kilpailukykyistä jäävät taloudellisen toteutettavuuden osoittamiseen tähtäävän prototyyppireaktorin tehtäväksi. Tänäpäin tällaisen arvon todistaminen on ennenaikaista.

Tokamak ei ole lopullinen ratkaisu

Tällä hetkellä tokamak on suorituskykyisin fuusio-laite, mutta ei välttämättä lopullinen reaktoriratkaisu. Euratomin tutkimusstrategiaan kuuluvat myös vaihtoehtoiset konseptit. Greifswaldin rakennetaan suurta suprajohtavia magneetteja käyttävää stellaraattoria W7-X, joka on tokamakin kaltainen toroidaalinen laite, mutta jossa koossapidosta huolehtivat pelkästään ulkoiset magneetit. Inertiaalikoossapitoon, jossa pieniä DT-pellettejä räjäytetään laserien tai hiukkas-suihkujen avulla, perustuissa reaktoreissa ensiseinäongelmat saattavat olla helpompia ratkaista kuin tokamakeissa. Riittävä säteily suoja ehkä saataisiin nestemetallivirtauksesta muodostuvilla seinämällä tai piikarbidirakeita käyttäen.

DT-seoksessa fuusio-palon edellyttämät olosuhteet on helpoimmin aikaansaatavissa mutta se on 14 MeV:n kovan neutronin vuoksi hankala polttoaine. Houkuttelevampi vaihtoehto olisi esim.



ITERin vakuuikammion poikkileikkaus, jossa kuvan alaosaan olevalle diverttorille ajautuu fuusio-reaktioissa syntynyt alfatuhka ja seinämiltä irtoavat epäpuhtaudet. Lämpökuorma diverttorin pinnalla voi olla jopa 10MW/m².

D³He-fuusio. Fuusiosähköä tällaisissa pääasiassa varattuja partikkeleita tuottavissa laitoksissa voitaisiin tehdä MHD-generaattoreilla, joiden hyötysuhde on erinomainen.

Lentämisessäkin aikanaan siirryttiin potkurikoneista suihkumootorien aikaan. Fuusiossa on kuitenkin ensin nouseva ilmaan ITERin avulla. ■

TkT Rainer Salomaa
Professori
Teknillinen fysiikka
Teknillinen korkeakoulu
rainer.salomaa@tkk.fi



Som finländsk fusionsforskare ute i världen

Det var tidigt i januari 2002 det hela började. Kappsäckarna var packade och i arla morgonstund, innan solen hade hunnit gå upp årets första dag, var jag på väg. På utlandskommendering. Till Oxfordshire, England. Till det sameuropeiska JET (Joint European Torus), Europas och kanske världens ledande fusionslaboratorium, som numera sorterar under avtalet European Fusion Development Agreement (EFDA) och därmed indirekt under EU-kommissionen. "Bara för ett år", hade jag smått naivt lovat släktingar och vänner, ja till och med mig själv. Åren har gått, men här i JET sitter jag fortfarande och är till på köpet mera intrasslad i diverse projekt än någonsin.



Komplexet av byggnader, som utgör JET. Själva tokamakaggregatet finns i den stora vita byggnaden.

Initiativet till min utlandskommendering kom från min finländska forskningsgrupp. I och med att jag, när det begav sig, hade utexaminerats som diplomingenjör någon månad tidigare, sökte jag efter ett lämpligt projekt för en doktorsavhandling, men något sådant tycktes inte just då stå att finna inom rikets gränser. I JET råkade däremot en lämplig tjänst vara ledig, en tjänst som tidigare hade innehaft av en finländsk kollega och som det finländska ledarskapet på hemmaplan ogärna ville ge upp.

Här må det som bakgrundsfakta infliskas att JET fungerar enligt principen att olika europeiska länders nationella fusionsassociationer skickar sina forskare till det sameuropeiska laboratoriet för att utföra experiment enligt ett noggrant utarbetat program. United Kingdom

Atomic Energy Authority, som å EFDA:s vägnar fungerar som teknisk operatör för JET, tar utöver detta emot nationella experter på långtida kommenderingar.

De första intrycken

Det var på en dylik långtidskommendering som jag nu var på väg, med tämligen ringa erfarenhet, kan det tilläggas. Jag funderade förvisso för mig själv, när det begav sig, huruvida jag alls skulle ha något nämnvärt mervärde att bidra med, men beslöt att göra det bästa av situationen. På något sätt började sedan saker och ting att löpa i rätt riktning och så småningom började jag känna mig hemmastadd i min nya roll som forskare i JET. Tur hade jag också. Med bästa tänkbara personliga handledare och flera meningsfulla projekt att medverka i kunde utlandsvistelsen knappast ha börjat bättre.

I JET togs jag emot med öppna armar och betraktades genast från början som en fullvärdig samarbetspartner. Åtminstone till en del kan jag tacka mina äldre finländska kollegor för detta. Dessa hade uppenbarligen hållit vår fana högt, inom såväl vetenskap som idrott, framgick det snart. Här kan det också vara på sin plats att infoga att jag som finländare har fått ett positivt bemötande i det engelska samhället även i övrigt.

Min erfarenhet är att man internationellt betraktar oss finländare som fiffiga och arbetsamma. Vi har inte heller någon historisk barlast i form av till exempel ett kolonialt förflutet att dras med.

Internationellt samarbete

Inom vetenskapsområde som vetenskapsområde är civil forskning oftast internationellt samarbete. Att knega på i ensamhet lönar sig sällan, om liknande forskning bedrivs på annat håll. Det internationella samarbetets betydelse accentueras inom fusionsforskningen, emedan den erforderliga experimentella utrustningen är påfallande stor och dyr. Fusionsforskningen är i själva verket så resurskrävande att inget land ensamt går in för att bygga en experimentell reaktor av sådan kaliber att en rejäl nettoeffekt kunde fås ut ur den. Redan de största nuvarande tokamakreaktorerna är alltför dyra för små och medelstora länder.

I Europa samordnas fusionsforskningen via EFDA, varvid de nationella fusionsprogrammen framskrider koordinerat och dubbelt arbete undviks. För globalt samarbete finns det likaså egna officiella strukturer. Ett av internationella expertgrupper bestående rådgivande organ känt under namnet International Tokamak Physics Activity koordinerar fusionsforskningen globalt, identifierar tyngd-

punktsområden och nya trender samt gör upp egna programförslag och riktlinjer. Mellan de institut som driver världens tre stora tokamakreaktorer, JET i Europa, JT-60U i Japan och DIII-D i USA, finns ett trilateralt fördrag, som sorterar under The International Energy Agency, vilket möjliggör ett flexibelt forskarutbyte mellan vederbörande institutioner. Detta gör det till exempel enklare att genomföra olika similaritets- och skalningsexperiment, med vilka man direkt kan jämföra de tre maskinernas prestanda. Ett otal regelbundet återkommande internationella konferenser, på vilka forskare kan presentera och debattera sina resultat, befrämjar också internationellt samarbete och internationell samverkan.

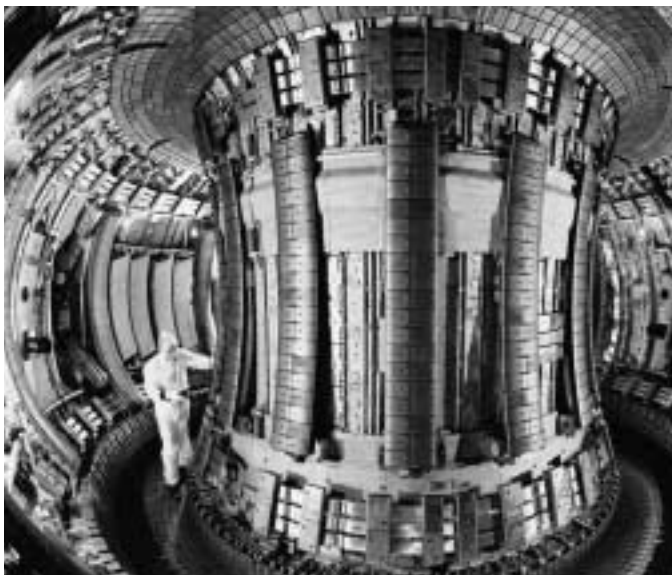
Arbete och fritid

Inom europeisk fusionsforskning är JET naven i hjulet, där forskare från olika länder möts. Den internationella miljön är en del av vardagen. Jag har inte behövt känna att jag skulle ha varit den enda utlänningen på en främmande plats.

Internationellt samarbete har varit dominerande också inom mina egna projekt. Bland annat vistades jag förra året totalt sex veckor på forskarbesök i Japan. Utöver detta har jag samarbetat med ett flertal europeiska och amerikanska forskningsgrupper.

För den som värdesätter en internationell atmosfär är även JET:s läge tämligen fördelaktigt. En dryg mil från JET ligger nämligen den anrika universitetstaden Oxford, som i alla tider har dragit till sig förmågor från när och fjärran. Själv kan jag bara konstatera att några av mina bästa vänner bor just i Oxford.

Emedan jag i likhet med så många andra finländare uppskattar den ro som står att finna på landsbygden, värdesätter jag också Oxfords rimliga storlek och de möjligheter till friluftsliv, som den omgivande glesbygden bjuder på. En hel del löpning har jag hunnit träna här i Oxfordshire, men också andra idrottsgrenar. Som exempel må nämnas rullski-



Inuti vakuuskammaren i JET-aggregatet.

däkning, vilket tycks ha förbryllat lokalbefolkningen mera än nämnvärt.

Vardagen utomlands

Att bo utomlands kräver naturligtvis alltid en viss anpassning till nya förhållanden. Stundom kan små detaljer i den lokala vardagen irritera omätligt, varvid det är lätt hänt att man önskar sig tillbaka till det trygga och hemvana Finland. Ibland känns det däremot fint att bo utomlands och man tycker sig se tjuvningen i samma små detaljer. För det mesta kan vistelsen utomlands dock tillskrivas kategorin rutin och vardag, som man inte tillägnar en överlops tanke.

Vad som ändå borde stå klart för var och en är att en längre vistelse utomlands i allmänhet kräver en del personliga uppoffringar, men att den i gengäld kan vara belönande. Vänner och anförvanter i hemlandet har man endast sällan möjlighet att träffa och likaså faller många traditionella evenemang och händelser oundvikligen bort från dagordningen. Å andra sidan finns det nog som motvikt upplevelser och vänner att välja och vraka bland i utlandet också.

Framtiden

Fusionsforskningen ser ut att få en allt mera internationell prägel i framtiden.

Som bäst inväntar det vetenskapliga samfundet ett beslut om att bygga ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), nästa generations stora fusionsreaktor, som kommer att vara ett i särklass internationellt projekt. ITER torde föra med sig en mängd nya internationella karriärmöjligheter inom fusion. Ett litet frågetecken är förstås huruvida verksamheten i JET kan fortsätta i sin nuvarande form, medan ITER byggs, men en kvalificerad gissning är att så kommer att ske. Långtgående planer för hur JET:s vetenskapliga program skall fortsätta under kommande år diskuteras nämligen redan på hög nivå.

En annan variabel i spelet är naturligtvis den allmänna utvecklingen på energimarknaden. Jag hör själv till dem som befarar att produktionen av råolja globalt oundvikligen på grund av naturens egna begränsningar kommer att vända neråt under de kommande tio åren. En därav resulterande energikris och kraftgång kan förstås radikalt förändra premisserna för all energiforskning.



*Dr Johnny Lönnroth
Forskare
Tekniska högskolan
johnny.lonnroth@hut.fi*

Ydinvastuujärjestelmä UUDISTUU

Hallitus antoi 4.2.2005 eduskunnalle esityksen ydinvastuualalla tehtyjen kansainvälisten pöytäkirjojen hyväksymisestä ja samassa yhteydessä ehdotuksen ydinvastuulain muuttamisesta (2/2005 vp). Hallituksen esityksen päätarkoituksena on huolehtia siitä, että Suomi voi pysyä mukana ydinvastuualan kansainvälisessä yhteistyössä ja sen kehityksessä. Esityksellä luotaisiin edellytykset sille, että Suomi voisi ratifioida kaksi allekirjoittamaansa OECD:n piirissä neuvoteltua pöytäkirjaa, joilla vastaavasti muutetaan kahta yleissopimusta, joihin Suomi on liittynyt jo 1970-luvulla.

Koko järjestelmän perusta on vuodelta 1960 olevassa Pariisin yleissopimuksessa, jossa lähde-tään siitä, että laitoksenhaltija on vastuussa vahingosta, joka on tämän ydinlaitoksesta peräisin. Tätä kutsutaan vastuun kanavoimiseksi. Jos kanavointikysymys on selvä ja riidaton, laitoksenhaltija ei voi vedota tuottamuksen puuttumiseen eikä siihen, että onnettomuuden on aiheuttanut sen palveluksessa olevan henkilön määräysten vastainen toiminta. Kanavoinnista seuraa, ettei vastuuta voida vierittää myöskään laitostoimittajalle tai muulle sopimuskumppanille.

Sen lisäksi, että vastuu on kanavoitu ja se on edellä kuvatulla tavalla ankaraa vastuuta, se on rajoitettu enimmäismäärään, joka puolestaan ei saa olla pienempi kuin sopimuksessa määrätään. Enimmäismäärän pitää vielä tällä hetkellä olla vähintään 17 milj. euroa, mutta sopimusvaltiolla on oikeus kansallisessa lainsäädännössään säätää, mikä tahansa sitä korkeampi vastuun enimmäismäärä.

Vastuumäärälle tulee sen koosta riippumatta olla viranomaisen hyväksymä vastuuvakuutus tai muu taloudellinen takuu. Käytännössä on osoittautunut, että vakuutus on ainoa käyttökelpoinen vaihtoehto.

Sopimusvaltioissa sijaitsevat ydinlaitokset vastaavat myös kuljetuksenaikaisista vahingoista, ja näitä tapauksia varten voidaan vastuun enimmäismäärä kansallisessa laissa alentaa pienemmäksi kuin 17 milj. euroa, joskaan ei alle 5,8 milj. euron. Vastaava alentamismahdollisuus on olemassa myös matalariskisten ydinlaitosten osalta.

Pariisin yleissopimus sisältää määräyksiä siitä, kuinka pitkä kanneaika vahingonkärsijöille on vähintään varattava, missä kanne on nostettava sekä siitä, keneltä laitoksenhaltija puolestaan voi periä jo suorittamansa korvauksen. Kanneaika on nykyisin aina 10 vuotta ydintapahtuman sattumisesta, kuitenkin niin, että kanne on nostettava viimeistään kahden vuoden kuluessa siitä, kun vahingonkärsijä sai tiedon vahingosta vastuussa olevasta laitoksenhaltijasta. Molempia aikoja voidaan määrätyn edellytyksin pidentää kansallisessa lainsäädännössä.

Laitosomistajan vastuu säilyy

Suorittamansa vahingonkorvauksen laitoksenhaltija voi periaatteessa yrittää hakea henkilöltä, joka on tahallaan aiheuttanut ydintapahtuman tai siltä, joka

on sopimuksessa sitoutunut vastaamaan vahingosta.

Tämä ei siis merkitse muutosta kanavointiperiaatteeseen, koska laitoksenhaltija on näissäkin tapauksissa ensisijaisessa vastuussa ja korvausvaatimus on kohdistettava laitoksenhaltijaan. Poikkeuksen kanavointiperiaatteeseen sen sijaan muodostavat ne kansainväliset kuljetusalan sopimukset, jotka syystä tai toisesta eivät tätä kanavointiperiaatetta tunnusta, vaan osoittavat vastuun kuljetuksenaikaisesta vahingosta esim. rahdinkuljettajalle, joka kuljettaa ydinainetta. Osa näistä sopimuksista oli Pariisin yleissopimuksen valmistuessa jo voimassa tai tulossa voimaan, minkä vuosi Pariisin yleissopimuksessa asia ratkaistiin antamalla rahdinkuljettajalle oikeus vaatia suorittamansa vahingonkorvaus takaisin asianomaiselta ydinlaitoksen haltijalta.

Kansainvälistä solidaarisuutta

Pariisin yleissopimuksen voi sanoa olevan kansainvälisen solidaarisuuden ilmentymä, koska sen perusajatus on, että sopimusalueella (Suomi, Ruotsi, Norja, Tanska, Hollanti, Belgia, Iso-Britannia, Ranska, Italia, Saksa, Espanja, Portu-

gali, Kreikka, Turkki ja Slovenia) kärsi-
tyt vahingot korvataan yhtäläisesti ja sa-
moin perustein riippumatta siitä, minkä
sopimusvaltion alueella sijaitseva ydin-
laitos vastaa vahingoista.

Yksinomainen tuomiovalta on sen val-
tion tuomioistuimilla, jonka alueella
ydintapahtuma on sattunut, eikä siellä,
missä vahingot ilmenevät. Tämä onkin
luonnollinen ratkaisu, sillä vakavan
ydinonnettomuuden seurauksena vahin-
koja voisi ilmetä useamman sopimusval-
tion alueella. Koska vahingonkorvaukset
maksettaisiin yhdestä lähteestä so. lai-
toksenhaltijan vakuutuksesta, muunlai-
nen ratkaisu olisi käytännössä mahdo-
ton. Pääsäännön mukaan sovellettaisiin
tuomioistuimaan lakia, kuitenkin niin,
että laitoksenhaltijan vastuun enimmäis-
määrä määräytyy sen kotimaan lainsää-
dännön mukaan.

Brysselin lisäyleissopimus tehtiin hie-
man Pariisin yleissopimuksen jälkeen
täydentämään laitoksenhaltijan vastuuta
julkisilla varoilla. Ajatuksena oli, että
jos Pariisin yleissopimus on ylipäätään
onnettomuuteen sovellettavissa, laitok-
senhaltijan vastuu toteutetaan ensin ja
kun vastuun enimmäismäärä on korvauk-
siin käytetty, on seuraavana vuorossa
isäntävaltio, so. valtio, jonka alueella
laitos sijaitsee aina siihen saakka, että
vahinkoja on korvattu 204 milj. euron
määrältä.

Tämä merkitsee sitä, että mitä kor-
keammaksi laitoksenhaltijan vastuun
enimmäismäärä on kansallisessa laissa

määrätty sitä pienemmäksi isäntävaltion
vastuu jää. Meillä laitoksenhaltijan vas-
tuun enimmäismääräksi on säädetty
juuri 204 milj. euroa, joten Suomen val-
tion vastuuta ei tämän ns. toisen vaiheen
osalta ole lainkaan.

Jos vahingot kuitenkin ylittäisivät
204 milj. euroa, korvaisivat Brysselin li-
säyleissopimukseen kuuluvat valtiot vielä
enintään 145 milj. euroa, jolloin sopi-
muksiin perustuva korvaus olisi yhteensä
enintään 350 milj. euroa. Yllämainituis-
ta vain Portugali, Kreikka ja Turkki
eivät kuulu tähän sopimukseen.

Tämä kolmannen vaiheen vastuu jaet-
taisiin siten, että puolet määräytyisi kun-
kin sopimusvaltion bruttokansantuotteen
suhteellisen osuuden mukaan kaikkien
sopimusvaltioiden yhteenlasketuista
bruttokansantuotteista. Toisen puolen
osalta suhteutettaisiin toisiinsa kussakin
sopimusvaltiossa asennetut reaktoreiden
lämpötehot vastaavalla tavalla. Suomen
nykyinen osuus olisi noin 2,8 milj. euroa.

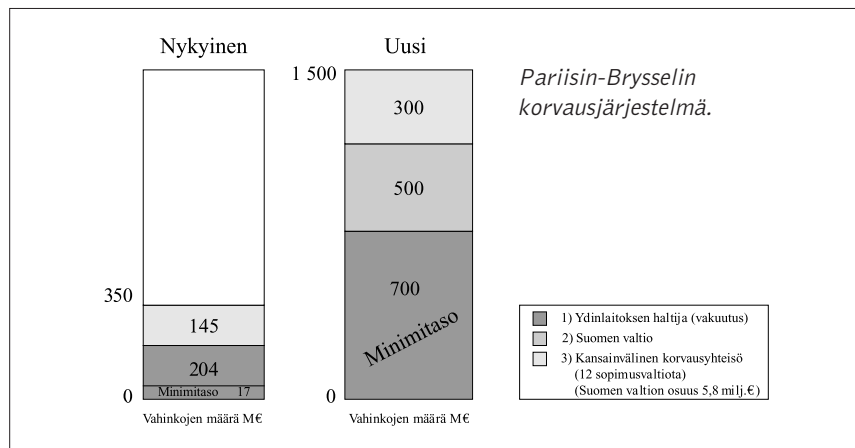
Rajoittamattoman vastuun periaate

Pariisin yleissopimusta on sovittu muu-
tettavaksi pöytäkirjalla, jonka mukaan
on nimenomaisesti sallittua, että laitok-
senhaltijan vastuulla ei ole enimmäis-
määrää, vaan se on rajoittamaton. Tämä
tehtiin ensisijaisesti Saksan vaatimukses-
ta, joka jo 1980-luvulla oli omaksunut
rajoittamattoman vastuun. Tästä huoli-
matta laitoksenhaltijalle on asetettava

kansallisessa laissa vastuumäärä, joka
sen on vakuutettava. Tämä määrä ei
voisi olla pienempi kuin 700 milj. euroa.
Samalla Brysselin lisäyleissopimusta
muuttavassa pöytäkirjassa määrätään,
että tämän ylittävältä määrältä isäntä-
valtio vastaa, kunnes vahinkoja on kor-
vattu 1 200 milj. euron määrältä. Jos
siten laitoksenhaltijan vastuun enim-
mäismääräsi asetetaan 700 milj. euroa,
jää isäntävaltion vastuuksi enimmillään
500 milj. euroa.

Kolmannen vaiheen vastuu korotetaan
pöytäkirjassa enintään 300 milj. euroksi,
joten kaikkien kolmen vaiheen yhteinen
vastuu olisi kaikkiaan 1 500 milj. euroa.
Kunkin sopimusvaltion osuus kolmannen
vaiheen vastuusta määräytyisi jatkossa
siten, että sopimusvaltiossa asennetulle
reaktoriteholle annettaisiin huomatta-
vasti enemmän painoa kuin sen brutto-
kansantuotteelle.

Mainitut 300 milj. euroa kohdistet-
taisiin nyt niin, että 65 % siitä määräy-
tyisi tehojen suhteessa ja loput kansan-
tuotteiden suhteessa. Laskentakaava on
nyt laadittu niin, että nykyisestä poiketen
uusien valtioiden liittyminen lisäisi kol-
mannen vaiheen korvausmäärää, eikä
vain alentaisi muiden sopimusvaltioiden
osuutta.



TVO:n uusien kunnossapitäjien koulutus ja perehdytys

VTT:llä on tehty yli viiden vuoden ajan käyttäytymistieteellistä kunnossapitotutkimusta alun perin FINNUS-ohjelman puitteissa, ja nyt sekä SAFIR-ohjelmassa (CULMA-projekti) että NKS-ohjelmassa (MainCulture-projekti). Projektipäällikkönä näissä molemmissa toimii Teemu Reiman. Näiden projektien puitteissa toteutettiin vuosina 2002-2003 TVO:n kunnossapidon organisaatiokulttuurin arviointi. Tällä hetkellä yhteistyö TVO:n kanssa jatkuu CULMA-projektin (2003-2006) puitteissa uusien kunnossapitäjien perehdyttämiseen ja kouluttamiseen keskittyvässä tutkimuksessa.



Vierailimme vuoden 2004 revisiossa mm. kuulostelemassa tulokkaiden ensimmäisiä revisiokokemuksia

Kunnossapitokulttuuritutkimuksen perusteella kunnossapidon kehittämiseen oli TVO:lla satsattu paljon, mm. erilaisia työn organisointitapoja oli kokeiltu, toimintaohjeet olivat ajan tasalla ja tietojärjestelmiä oli systemaattisesti kehitetty. Myös kunnossapitofilosofiaa oli pyritty viemään kentälle asentajalle asti. Silti organisaation toimivuus perustui paljolti henkilöstön hyvään laitostuntemukseen ja kokemukseen laitteista. Sukupolvenvaihdosta pidettiinkin henkilöstön keskuudessa suurimpana haasteena. Toisaalta tutkimuksessa havaittiin, että kunnossapitotoiminta ja sen vaatimukset ovat muuttumassa, ja tulevaisuudessa tarvitaan myös uudenlaista osaamista ja ajattelutapaa kunnossapitotyöhön.

Olemme kunnossapitohenkilöstön kanssa samaa mieltä siitä, että sukupolvenvaihdos on vaativa haaste laitoksen luotettavan toiminnan kannalta. TVO:lla on tehty valtavasti töitä osaamisen hallinnan eteen. Sekä kunnossapito että koulutus ovat olleet mukana kehittämässä mm. rekrytointisuunnitelmia, Oppi-Webbi-tietojärjestelmää työparikäytän-

nöllä (uusi ja kokenut), kunnossapidon "harjoittelusimulaattoria" Tekolaa sekä koulutusohjelmaa uusille työntekijöille. Tämän takia päätimme "uusien kunnossapitäjien koulutus ja perehdyttäminen" (KoPe) -projektissa keskittyä tukemaan TVO:n jo käynnissä olevaa osaamisen siirtämiseen tähtäävää työtä.

KoPe-projekti pyrkii tukemaan uusia kunnossapitäjiä

KoPe-projekti päätettiin heti alussa suunnitella vähintään kolmivuotiseksi, jotta koulutuksen ja perehdyttämisen vaikutuksia päästään arvioimaan ja kehitysehdotuksia toteuttamaan seuraaville rekrytoitaville, joita oli vuonna 2004 seitsemän kappaletta. Projektissa tarkastellaan sitä, miten koulutus- ja perehdytysputki ja työskentely kentällä muuttavat uusien tulokkaiden teknistä tietotaitoa, asenteita, ja käsityksiä kunnossapitotyön vaatimuksista. Tavoitteena on tuottaa TVO:n koulutukselle tietoa koulutusputken onnistumisesta ja kunnossapidon koulutustarpeista sekä tukea kun-

nossapitoimistojen uuden henkilöstön perehdytyskäytäntöjä.

Eräs tapa mitata tiedon siirtymistä on ns. käsitteellisen hallinnan kehittymisen seuranta. Tätä tarkoitusta varten kehitimme yhdessä TVO:n kanssa käsitteellisen hallinnan mittarin. Idea on, että osaamisen kehittämiseksi ja tiedon siirtämiseksi työntekijä tarvitsee käsitteitä ja teoreettista tietoa. Mittari sisältää kysymyksiä, jotka jokaisen kunnossapitäjän tulisi tietää ("mitä tarkoitetaan redundanssilla?") sekä vaativampia erityiskysymyksiä ("ovatko lauhdepumput ja syöttövesipumput molemmat keskipakopumppuja?"). Mittarin idea on kehitetty paperiteollisuudessa, jossa suoritetuissa tutkimuksissa on havaittu, että työn käsitteellinen hallinta on yhteydessä työn osuvaan suorittamiseen sekä yhteistyön sujuvuuteen (Leppänen 1993). Käsitteellisen hallinnan mittaamisella voidaan tunnistaa yleisiä väärinkäsityksiä ja koulutustarpeita. Jo yhdenkin väärinkäsityksen havaitseminen saattaa säästää organisaation monilta ongelmilta.

Haastattelemme myös tulokkaita säännöllisin väliajoin, ja analysoimme miten heidän käsityksensä työstä muuttuu. Koulutuksen ja perehdyttämisen pitäisi tukea aitoa kiinnostusta työn sisältöä kohtaan.

Odotuksia ja kokemuksia työstä

Pilotoitaessa käsitteellisen hallinnan mittaria seitsemällä tulokkaalla tietotassossa oli eroja, mikä asettaa haasteita koulutukselle. Oli myös yllättäviä asioita, jotka olivat kaikille hankalia. Esimerkiksi redundanssin käsite oli vaikea ymmärtää, uusia käsitteitä ja termejä tuli koulutuksessa "valtavasti lyhyessä ajassa", ja keskeisten asioiden tunnistaminen koettiin haastavaksi.

Haastateltaessa ilmeni mm. että vaikka kaikki pitivät kunnossapitoa tärkeänä työnä, sen vaikutusta laitosturvallisuuteen ei osattu kuvata. Tämä on ymmärrettävää vasta taloon tulleilta, mutta ha-

vaintojemme mukaan kunnossapidon turvallisuusvaikutusten kuvaaminen ei ole aina helppoa kokeneemmillekaan mil-lään laitoksella.

Toisinaan toimenpiteitä pidetään niin moneen kertaan varmistettuina että omalla toiminnalla ei uskota olevan mahdollisuuksia johtaa vaaratilanteisiin. Luotetaan redundansseihin. Tämä asettaa haasteen koulutukselle ja perehdyttämiselle; miten opettaa uusille työntekijöille redundanssien oikea funktio ja oman työn turvallisuusmerkitys.

TVO:n seitsemän uuden työntekijän kokemukset siitä, miten heidät oli otettu vastaan, olivat erittäin positiivisia: heidän tuloonsa oli selkeästi varauduttu ja perehdyttämistä mietitty. Odotuksissa heijastui ydinvoimalaitosten maine täydellisyyteen pyrkivinä organisaatioina: odotettiin, että kaikkia laitteita ennakohuolletaan niin, ettei vikaantumisia koskaan synny, ja että ydinvoimalaitoksessa kaikki on uutta ja kiiltävää.

Tutkimusta jatketaan

Tänä keväänä haastattelemme vuonna 2004 rekrytoidut uudestaan nyt kun virallinen koulutusputki on käyty ja varsinaisen työ alkanut. Tarkastelemme odotusten täyttymistä ja pohdimme kehittämisideoita koulutus- ja perehdytyskäytäntöihin. Sitä mukaa kun uusia kunnossapitäjiä aloittaa TVO:lla heidät otetaan mukaan tutkimukseen. Näin ollen ensimmäisen "saapumiserän" kokemuksia hyödynnetään seuraavien vastaanotossa. ■



Lähteet:

Leppänen, A. (1993).
Työn käsitteellisen hallinnan ja hyvinvoinnin yhteydet ja kehittyminen paperinvalmistuksessa työskentelevillä. Väitöskirja, Helsingin yliopisto.
Työ ja ihminen, työympäristötutkimuksen aikakauskirja, lisänumero 6/93.

Oedewald, P. & Reiman, T. (2005).
Henkilöjohtamisen haasteet kunnossapidossa. Mielenkiinnon ja innostuksen ylläpitäminen muutoksissa.
Kunnossapitolehti, 1, 43-45.

Reiman, T., Oedewald, P. & Rollenhagen, C. (in press).
Characteristics of organizational culture at the maintenance units of two Nordic nuclear power plants. *Reliability Engineering and System Safety*.

Reiman, T. & Oedewald, P. (2004).
Kunnossapidon organisaatiokulttuuri.
Tapaustutkimus Olkiluodon ydinvoimalaitoksessa. VTT Publications 527.
Espoo: Otamedia.

Reiman, T. & Oedewald, P. (2005).
Organisational challenges of maintenance work at NPPs. In: Rätty, H. & Puska, E.K. (eds.), *SAFIR The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 2003-2006. Interim report*. VTT Research Notes 2272. VTT: Espoo.

Vuosikokouksen 2005 KUULUMISIA



ATS:n vuosikokous järjestettiin tänä vuonna helmikuun viimeisenä päivänä, 28.2. Paikkana oli jälleen Tieteiden talo Helsingissä. Kokouksessa käsiteltiin yhdistyksen sääntöjen määräämät asiat. Sen lisäksi julkistettiin vuoden 2004 Erkki Laurila -palkinnon saaja. Kokouksen loppuksi kuultiin kaksi uuden laitostyösköön rakentamiseen liittyvää esitelmää.

Seuran puheenjohtaja Antti Piirto esitteli kokoukselle vuoden 2004 toimintakertomuksen ja kertasi vuoden tärkeimpiä tapahtumia. Vuoden aikana järjestettiin yksi jäsenkokous ja syysseminaari. Elokuun lopussa pidetyn jäsenkokouksen aiheena oli ydinjätehuolto. Syysseminaarissa keskityttiin pitkälti OL3-laitokseen. Myös kotimaan ekskursio, joka vuonna 2004 järjestettiin yhdessä Energiakanavan kanssa, suuntautui Oikiluotoon. Syksyn ulkomaaneksursio tehtiin Etelä-Afrikkaan.

Nuorten ATS:n jäsenten työryhmä YG jatkoi aktiivista toimintaansa myös vuonna 2004. Keväällä YG järjesti ekskursion Englantiin, ja syksyn päätapahtuma oli syyskuussa järjestetty YG:n oma syysseminaari. Seminaarin aiheena

oli "Ydinvoiman tulevaisuus Euroopassa - Future of the Nuclear Power in Europe". YG jatkoi myös opiskelijainfojen järjestämistä. Vuoden mittaan tehtiin myös merkittävää valmistelutyötä tulevien vuosien toimintaa varten; Suomen ja Ruotsin YG saivat järjestettäväkseen International Youth Nuclear Congressin Skandinaviassa kesällä 2006.

Myös Energiakanavan toiminta jatkui vilkkaana. Energiakanava järjesti jäsenilleen kaksi koulutustilaisuutta, ja syksyllä oli jälleen vuorossa Säteilevät Naiset -seminaari. Seminaarin aiheena oli tällä kertaa 'Hyvä Säteily, eli säteilyn käyttö terveydenhuollossa ja sen valvonta'. Energiakanava sai vuonna 2004 myös uuden puheenjohtajan kun TKT Karin Rantamäki aloitti Energiakanavan puheenjohtajana 1.10.2004.

Piirto esitteli myös vuoden 2005 toimintasuunnitelmaa. Seuran toiminta tulee jatkumaan samankaltaisena. Huhtikuuksi on suunnitteilla ekskursio Jyväskylän seudulle, syksyn ulkomaaneksursio tehdään tänä vuonna Venäjälle.

Energiakanavan päätapahtuma tulee olemaan syksyn Säteilevät Naiset -seminaari. YG järjestää vuoden 2005 aikana ekskursion Kroatiaan, ja osallistuu syksyllä Energiamesuille. Lisäksi syksyksi on suunnitteilla myös YG:n jäsenille suunnattu seminaari.

Uusi ultimate-sihteeriksi

Johtokunnan jäsenistä erovuorossa oli vain sihteeriksi **Minna Tuomainen**. Hänen tilalleen uudeksi sihteeriksi valittiin **Juha Poikolainen** (VTT Prosessit).

Juha valmistui diplomi-insinööriksi LTY:sta vuonna 2002 energia- ja ympäristötekniikan osastolta. Diplomityön hän teki VTT:lle ja jäi työskentelemään ydinvoimalaitostekniikan tutkimusryhmään.

Työhön kuuluvat erilaiset termohydrauliikan laskenta- ja kehitystehtävät sekä uusien reaktorityyppien kehityksen seuraaminen. Juha suorittaa myös jatko-opintoja LTY:ssa pääaineena ydintek-

niikka. Vapaa-aikana uuden sihteerin tapaa usein frisbee kädessä pelaamassa ultimatea, jota hän pelaa Discuksen joukkueessa.

Lisäksi vakituisiin harrastuksiin kuuluvat Taido ja sulkapallo. Lähes joka



ATS:n uusi sihteeriksi Juha Poikolainen Haltilla.

syksy viikko kesälomasta kuluu sivistyksen ulkopuolella ja matkapuhelimen tavoittamattomissa keskellä erämaita rinka selässä vaeltaen.

Muu johtokunta ennallaan

Seuran puheenjohtajana jatkaa Antti Piirto (TVONS), varapuheenjohtajana **Lena Hansson-Lyyra** (VTT) ja rahastonhoitajana **Hanna Virlander** (TVO). Lisäksi johtokunnan jäseninä jatkavat **Harriet Kallio** (Fortum Power and Heat), **Ronnie Olander** (STUK) ja **Risto Tarjanne** (LTY).

Sääntömääräisten asioiden päätyttyä julkistettiin vuoden 2004 Erkki Laurila -palkinnon saaja. Palkinnon sai **Olli J.**

Marttila, jonka kirjoitus "Miksi säteilyn käyttöä puolustavan asiantuntijan ja sitä vastustavan kansalaisen näkökannat eivät kohta?" valittiin ATS Ydintekniikan toimituksen äänestyksessä vuoden 2004 parhaaksi artikkeliksi.

Kokouksen lopuksi kuultiin kaksi esitelmää; ensin **Petteri Tiippa** (STUK) kertoi OL3 rakentamisluvan käsittelystä STUKissa, sen jälkeen **Jaakko Pullinen** (TVO) kertoi OL3:n höyrystymien ja paineastian takeiden valmistuksesta. Molempia esitelmää seurasi vilkas keskustelu ja esitelmöitsijät saivat vastata moniin kysymyksiin.



*DI Minna Tuomainen
Säteilyturvakeskus
minna.tuomainen@stuk.fi*

Projekti rullaa – ennakkolaskuja hoidellaan

Rakentamislupa tuli 17. helmikuuta ja työ jatkuu viivyttelemättä. Valtioneuvosto luovi sujuvasti ministeriöiden karikossa ja antoi luvan ilman turhia ehtoja. Näin me ydinvoiman rakentajat saimme todistukseemme merkinnän: siirretään seuraavalle luokalle. Ympäristöopin opettajan suosiossa emme ole vielä, vaikka tätä ainetta on opiskeltu erityisen ahkerasti myös viime aikoina.

Kirjailija **Ilkka Remes** kehittää kirjassaan Hiroshiman portti erilaisia keinoja sabotoida Olkiluoto 3 työmaata. Kirjan tekstistä kuultaa läpi ajatus ydinvoimalan roihahtamisesta liekkiin uuden vuoden raketin tavoin. Moneen Remeksen kaltaiseen 60-luvun lapseen on kylmän sodan ydinaseuhka jättänyt muistijäljen, jonka kauhukuva kirkastui Tshernobylin ydinturmassa. Heitä ei mikään saa uskomaan ydinvoiman uusrenessansiin. Samoin suomalainen vihreä mieluummin kertaa korpea kuin hyväksyy ydinsähköistetyn kaupunkilaiselämän.

Ilman Olkiluoto 3 projektia myös Suomen ydinvoimapolitiikkaan olisi voinut tarttua "Ruotsin-tauti". Ruotsalainen energiapolitiikkahan muistuttaa valheellisen lopun omaavaa satii-rista komediaa. Reilu kymmenen vuotta sitten joku suomalainen poliitikko ajatteli varmaan mielessään: "Päätän ehjän urani hyvin, kun kaadan ydinvoiman ja alan presidentiksi." Samaan tapaan ajateltiin myös eräiden yhtiöiden betonitorneissa: "Ydinvoiman loppuessa ovat suunnittelijat ja resurssit halvalla kaupan jollekin." Toisin kävi!

Pääkomponenttien valmistus Japanissa ja Ranskassa on edennyt viranomaisen valvonnassa myös rakentamisluvan käsittelyajan. Nyt me iloiset rakentajat nostamme rojun Olkiluotoon louhittujen tunnelien päältä ja alamme rakentaa ylöspäin. Muutaman vuoden päästä katselemme työmaata ylpeinä suojarakennuksen noustessa sinne korkeana, vietämme harjakaisia, kohoamme maljoja ja toivotamme juhlaonia.



TAPAHTUMA- KALENTERI

Projektien toimintavoista löytyy hauskoja piirteitä. Projektin hitsautuessa yhteen muodostuu siihen useita asiantuntijatasoja. Tätä piirrettä osapuolet käyttävät myös hyväkseen. Se käy näin: nuori ripeä kaveri kuittaa alustavat piirustukset ja ne lähetetään eteenpäin. Samalla kuittaja sopii, että piirustukset tehdään ensi tilassa uudestaan, jotta papereihin saadaan myös vanhemman asiantuntijan kuittaus. Hänellehän ei näin keskeneräistä työtä uskalla edes esittää! Näin työn lopullinen laatu saadaan säilymään tasaisena, vaikka välillä on todella kiire. Roolit: ystävällinen, ripeä asiantuntija ja vanhempi, pikkutarkka asiantuntija, muodostuvat luonnostaan tai muodostetaan sisäisissä kokouksissa. Viranomaiselle lankeaa kaikesta niuhottavan huippuasiantuntijan rooli.

Alkuvaiheessa on ollut ongelmia automaation hyväksyttävyyden kanssa. Ydinvoimalaitosautomaatiolle ei käy normaali - pieni ja pehmeä – ongelmaratkaisu: vian myötä eteen rävähtää sininen ruutu, jossa lukee pahoittelu ja kehoitus ottaa yhteyttä tuotteen valmistajaan.

Jos katsomme tietoliikennettä liikenteenä, Olkiluoto 3 laitoksessa on nyt kaksi suurta moottoritietä ja yksi pieni kylätieverkko. Kylätietä pääsee vain välttämättömiin paikkoihin – näin vältetään eksymiset. Erikoistilanteissa ohjaaja voi edetä jalan maastopoluilla – tärkeät etäisyydet ovat riittävän lyhyitä. (Saa nähdä moniko tuosta vertauksesta ymmärsi mitään!)

Lopuksi projektihuumoria: Nuori mies meni naimisiin kesken projektin ja valitteli jo häyyönä työkiireitään. Hän arveli joutuvansa olemaan paljon poissa myös viikonloppuisin. Nuori vaimo totesi, että heillä eletään jatkossakin säännöllisesti: iloista seksiä harrastetaan vastahankitussa omakotitalossa aina lauantai-iltaisin ja sunnuntaiaamuisin. Tämä koskee myös niitä viikkoja, jolloin isännällä on projektimatkoja. Nuori mies meni seuraavana päivänä kieltäytymään viikonlopun yli menevistä projektimatkoista.

Viimeksi kolumnistani oli etsitty piilomerkityksiä ja erilaisia viittauksia henkilöihin. Nyt kirjoitin niitä, nehan ovat muodissa. Tämä teksti sisältää joukon anagrammeja projektiin sekaantuneiden henkilönimistä. Nimien yhteydet ympäristönsä sanoihin ovat satunnaisia. Kaikki nimet löytäneelle ja ensimmäisenä sähköpostilla minulle ilmoittautuneelle tarjoan ohrapirtelön (tai pullakahvin) sopivassa paikassa. Anagrammien lukumäärä on sama kuin Heikin luku. ■

ATS:n kevätekskursio 12.4.2005 / Jyväskylä

Tutustuminen Jyväskylän yliopiston kiihdytinlaboratorioon
Kutsu jäsenpostissa maaliskuussa
Pekka Nuutinen, TVO
(pekka.nuutinen@tvo.fi)

**Energiakanavan vierailu
Helsingin Energialla 18.4.2005 / Helsinki**
Ohjelma ja ilmoittautumistiedot energiakanavalaisille sähköpostilla
Karin Rantamäki, VTT Prosessit
(karin.rantamaki@vtt.fi)

**Energiakanavan ja naistoimittajien retki
7.6.2005 / Olkiluoto**
Ohjelma ja ilmoittautumistiedot energiakanavalaisille sähköpostilla
Karin Rantamäki, VTT Prosessit
(karin.rantamaki@vtt.fi)

YG:n kevätekskursio 7.-12.6.2005 / Zagreb, Kroatia

Nuclear Young Generation Forum 2005
<http://forum2005.zpf.fer.hr/>
Satu Siltanen, Fortum Nuclear Services
(satu.siltanen@fortum.com)

UUDET JÄSENET

VARSINAISET JÄSENET

Ilkka Sintonen
Temet
Kaj Söderholm
Teollisuuden Voima

Suomen Atomiteknillisessä Seurassa oli 28.2.2005 pidetyn johtokunnan kokouksen jälkeen 617 varsinaista jäsentä ja 45 nuorta jäsentä eli opiskelijaa. Kunniajäseniä oli 10 ja kannatusjäseniä 20.

Seuran jäseneksi pääse johtokunnan hyväksymällä hakemuksella. Hakemukseen tarvitaan kahden jäsenen suositus. ATS:n jäsenhakemus internetissä:
<http://www.ats-fns.fi/info/jasenhakemus.pdf>.

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA —

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



Kannatusjäsenet

Alstom Finland Oy
Fintact Oy
Fortum Oyj
Kemira Oy, Energia
Patria Finavitec Oy
Platom Oy
Pohjolan Voima Oy
Posiva Oy
PRG-Tech Oy
Pohjoismainen Ydinvaruutuspooli
PrizzTech Oy
Rados Technology Oy
Saanio & Riekkola Oy
Siemens Osakeyhtiö
Soffco Oy Ab
Teollisuuden Voima Oy
TVO Nuclear Services Oy
VTT Prosessit
VTT Tuotteet ja tuotanto
YIT Installaatiot

ATS internetissä:

<http://www.ATS-FNS.fi>