

# ATS

1|2015

Vol. 44

YDINTEKNIikka

---

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

---

## **Digitaalisten automaatiojärjestelmien verifiointi**

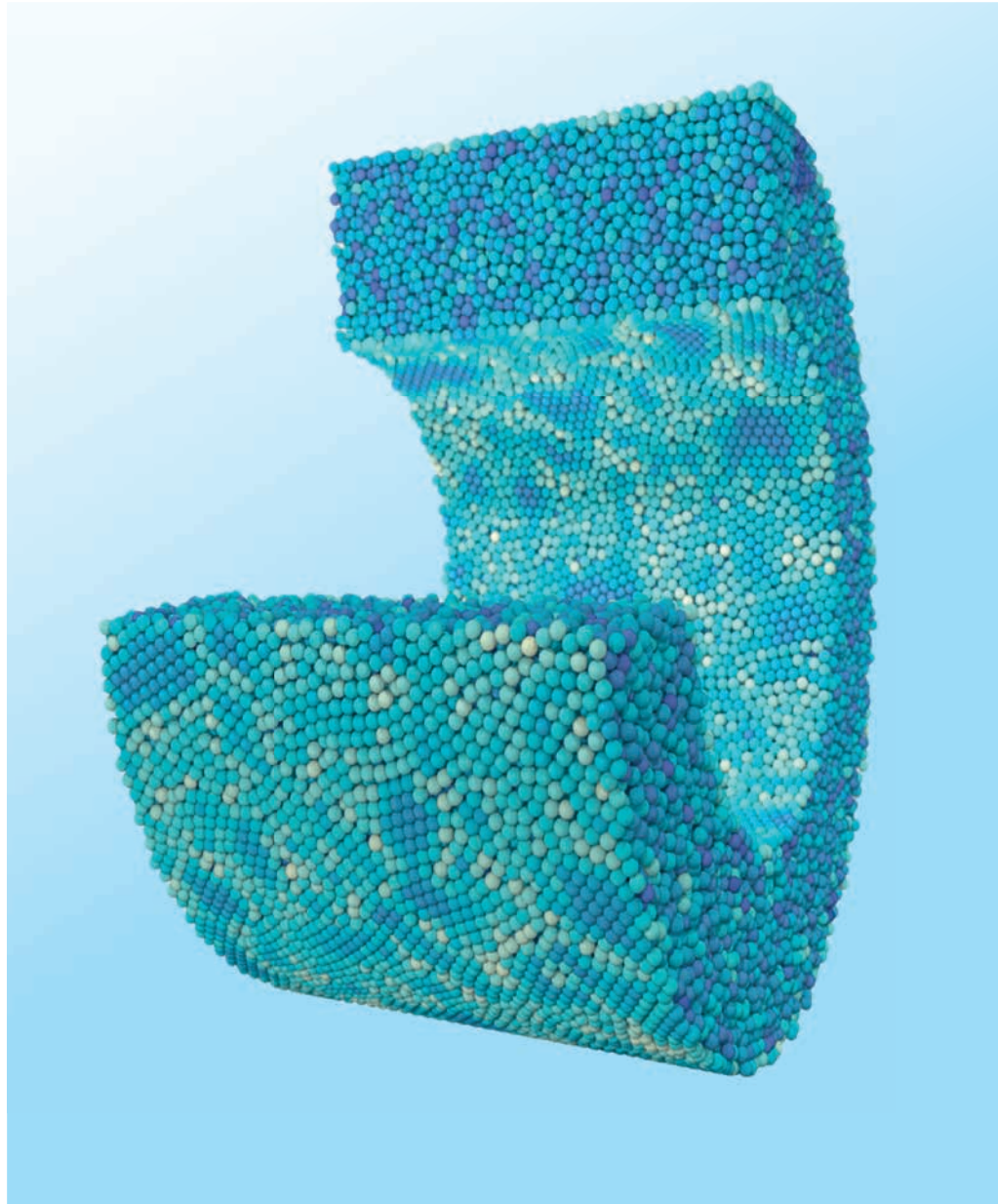
Digitaaliset järjestelmät ovat usein niin monimutkaisia, ettei kattava testaus ole käytännössä mahdollista; tarvitaan tehokkaampia tietokoneavusteisia menetelmiä.

## **Lappeenrannan turvallisuustutkimuksen uudet tuulet**

Laskennan luotettavuuden arviointi on tärkeää ja ainoa tapa saada käsitystä tulosten tarkkuudesta on verrata niitä tarkkoihin mittauksiin.

## **Jäsenistöltä seuralle hyvä yleisarvosana**

Keväällä toteutettuun jäsenkyselyyn vastasi 258 seuran jäsentä, jotka antoivat toiminnalle yleisarvosanan 8,1.



### Julkaisija / Publisher

Suomen Atomiteknillinen Seura – Atomtekniska Sällskapet i Finland r.y.  
www.ats-fns.fi

### Johtokunta / Board

#### Puheenjohtaja / President

DI Kai Salminen  
puheenjohtaja@ats-fns.fi

#### Varapuheenjohtaja / Vice President

TkT Filip Tuomisto  
filip.tuomisto@aalto.fi

#### Sihteeri / Secretary General

DI Henri Loukusa  
sihteeri@ats-fns.fi

#### Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Lauri Pyy  
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

#### Jäsenet / Board Members

DI Ilkka Männistö  
ilkka.mannisto@fennovoima.fi

DI Tuomas Rantala  
tuomas.rantala@tvo.fi

FL Lasse Koskinen  
lasse.koskinen@posiva.fi

### Toimihenkilöt / Functionaries

#### ATS Young Generation

DI Henri Ormus  
henri.ormus@fennovoima.fi

#### Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

TkT Jari Tuunanen  
jari.tuunanen@fortum.com

#### Energiakanava / Energy Channel, WiN Finland

DI, FM Anna-Maria Länsimies  
anna-maria@lansimies.com

#### Ekskursios sihteeri / Excursions

DI Ville Lestinen  
ville.lestinen@fortum.com

#### www-vastaava / Webmaster

TkT Heikki Suiikkanen  
webmaster@ats-fns.fi

#### ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkL Eero Patrakka  
eero.patrakka@kolumbus.fi

### Toimitus / Editors

#### Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

DI Anna Nieminen  
anna.nieminen@vtt.fi

#### Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

TkT Liisa Heikinheimo  
liisa.heikinheimo@tvo.fi

#### Toimitussihteeri / Lay-out Editor

Katariina Korhonen  
Suunnittelutoimisto Creatus  
katariina@creatus.fi

#### Toimitus / Editorial Staff

DI Lauri Rintala  
Lauri.rintala@fennovoima.fi

DI, FM Anna-Maria Länsimies  
anna-maria@lansimies.com

DI Eveliina Takasuo  
eveliina.takasuo@vtt.fi

DI Risto Vanhanen  
risto.vanhanen@aalto.fi

DI Klaus Kilpi  
klaus.kilpi@welho.com

### Toimituksen yhteystiedot

#### ATS Ydintekniikka

c/o Anna Nieminen  
PL 1000  
02044 VTT  
p. 040 159 1156

#### Painopaikka

Wellprint Oy, Espoo

ISSN-0356-0473

Vuonna 1966 perustetun Suomen Atomiteknillisen Seuran (ATS) tarkoituksena on edistää ydintekniikan alan tuntemusta ja kehitystä Suomessa, toimia yhdyssiteenä jäsentensä kesken kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi sekä vaihtaa tietoja ja kokemuksia kansainvälisellä tasolla. ATS on Tieteellisten seurain valtuuskunnan jäsenseura.

ATS Ydintekniikka on ATS:n julkaisema, neljästi vuodessa ilmestyvä aikakautinen julkaisu. ATS:n tavoitteena on, että ATS Ydintekniikka on johtava teknistieteellinen ammattijulkaisu Suomessa.

ATS ei vastaa julkaistuissa artikkeleissa ja kirjoituksissa olevista tiedoista ja näkökannoista. Toimitus pidättää itsellään oikeuden lyhentää, tiivistää ja muokata julkaistavaksi tarkoitettuja artikkeleja ja kirjoituksia.

# Tavoitteena entistä laadukkaampi lehti

**A**TS:N UUDISTUMISTA käsitellään tässä numerossa laajasti. Myös ATS Ydintekniikassa puhaltavat uudet tuulet, mutta lehden osalta muutokset tulevat itse asiassa olemaan jopa aiemmin kaavailtua pienempiä: lehti nimittäin ilmestyy jatkossakin, painettuna, neljä kertaa vuodessa. Tavoitteena ei niinkään ole tehdä radikaaleja sisältömuutoksia, vaan saada kuntoon ne asiat, jotka eivät aiemmin ole toimineet. Näistä isoin on lehden ilmestymisaikataulu, jonka pitävyydessä vastaavalla päätoimittajalla on tärkeä rooli.

Pieniä viilauksia toki sisältöönkin tehdään; näistä tärkein on numerokohtaisista teemoista luopuminen. Sen sijaan kussakin numerossa tulee jatkossa ilmestymään artikkeleita sekä alan ajankohtaisista asioista että tieteellisistä saavutuksista. Näin toimitustyöstä tulee joustavampaa ja ajantasaisempaa, tavoitteena on kuvata pintaa syvemmältä asioita, jotka juuri nyt puhuttavat.

Myös toimituksen työtapoja päivitetään; tässä avainasemassa ovat aktivoituminen, yhteistyö ja vastuun jakaminen. Vastaava päätoimittaja on luonnollisesti vastuussa lehdestä kokonaisuutena, mutta hänen tukenaan tulee toimimaan erikoisalueiden päätoimittajia. Heistä ensimmäinen on nimetty: Liisa Heikinheimo vastaa jatkossa tieteellisen sisällön tuottamisesta. Seuraavaksi täytettävänä on ajankohtaispäätoimittajan pesti.

Erikoistoimittajat eivät jatkossa toimi ainoastaan linkkinä omaan organisaatioonsa, vaan he profiloituvat voimakkaammin tietyn tyyppiseen sisällöntuottoon ja -hankintaan. Toimituksen tulee myös paneutua yhteistyössä sisältö- ja aikataulusuunnitteluun entistä aktiivisemmin ja aikaisemmassa vaiheessa. Merkittävässä roolissa on myös uusi toimitussihteeri, Katariina Korhonen, jonka kanssa on päivitetty lehden visuaalinen ilme. Tavoitteena on ollut moderni, selkeä ja tyylikäs kokonaisuus.



Uudessa tehtävässäni haluan kohottaa ATS Ydintekniikan profiilia tekemällä entistä laadukkaampaa lehteä. Otan mielelläni vastaan kommentteja lehden visuaaliseen ilmeeseen ja sisältöön sekä tavoitteisiin liittyen!

**Anna Nieminen**

Vastaava päätoimittaja

## SISÄLTÖ

### Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Tavoitteena entistä laadukkaampi lehti ..... 3

Pääkirjoitus:  
Quo vadis, nostram societatem?..... 4

Muistot:  
Pekka Jauho ja Kalevi Numminen..... 14

Reaktorin laidalla:  
Ydinvoimakanta EOS..... 31

### Tapahtumat

Vuosikokouksessa valittiin viisi uutta jäsentä johtokuntaan..... 12

ATS:n vaalipaneelin teemana ”Ydinvoima, hyvinvointi ja Suomi”..... 16

SAFIR2014 päätösseminaari – turvallisuustutkimuksen jatkumoa ja muutoksia..... 18

### Ajankohtaista

Jäsenistöltä seuralle hyvä yleisarvosana ..... 5

ATS Uudistuu..... 22

### Tiede ja tekniikka

Väitös:  
Innovatiivisten kaasujäähdytusteisten reaktorien mallinnus..... 9  
*TkT Heikki Suikkanen*

Digitaalisten automaatiojärjestelmienverifiointi mallintarkastuksen avulla..... 25  
*DI Jussi Lahtinen, DI Janne Valkonen, DI Antti Pakonen ja TkT Keijo Heljanko*

Lappeenrannan turvallisuustutkimuksen uudet tuulet..... 28  
*TkT Juhani Hyvärinen, TkT Heikki Purhonen ja Dr.Sc. Arto Ylönen*

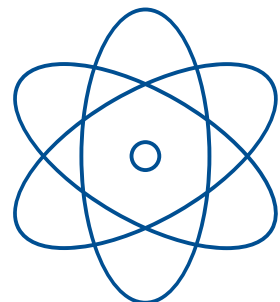
## ATS:N UUDET JÄSENET

### Vakinaiset jäsenet

Sini-Maaria Sipponen, Fennovoima  
Mikael Biese, Fortum  
Aku Itälä, VTT  
Maria Kaipainen, HYRL

### Opiskelijajäsenet

Jarkko Tulensalo, Aalto  
Andrej Solovian, Aalto  
Santeri Myllynen, Aalto  
Juuso Terävä, Aalto  
Samuli Rytömaa, Aalto  
Konsta Värri, Aalto



## Quo vadis, nostram societatem?

**S**EURAN JOHTOKUNTA on nuorempi kuin aikoihin, ehkä koskaan. Tätä huolimatta – tai kenties juuri siksi – johtokunta on ottanut haastavaksi tavoitteekseen ATS:n uudistamisen. Modernisointisuunnitelmia käsitellään useassa tämän numeron artikkelissa.

Olen ollut ATS:n toiminnassa mukana vuodesta 2000, jolloin johtokunnan sihteeri Jarmo Ala-Heikkilä kysyi kiinnostustani ryhtyä ekskursiosihteeriksi. Viidentoista vuoden aikana kokemukseni ovat karttuneet myös YG-toiminnan vetämisessä, ATS Ydintekniikan päätoimittajana ja johtokunnan jäsenenä.

Maailma on muuttunut kuluneiden 15 vuoden aikana. Toimintaympäristömme on muuttunut vielä enemmän ajasta, jolloin valtaosa seuran toimintavuodoista on saanut alkunsa. Olemme vahvojen perinteiden yhdistys, mutta haluammeko olla perinneyhdistys?

Kaikille on tuttu Darwinin muotoilema ajatus siitä, että hengissä ei selviydy vahvin tai älykkäin, vaan muutokseen parhaiten sopeutuva. Ajattelempa, että muutos on aina nopea ja radikaali, kuin komeetan iskeytyminen. Antropologiassa ihan yhtä mielenkiintoinen on muutos, joka on lähes huomaamattoman



hidas, mutta vääjäämätön. Tällöin kohtalokkaaksi saattaa muodostua inhimillinen taipumus lykätä kaikkia muutoksia oltilaamme kunnes on myöhäistä.

ATS:n elinvoimaisuus voi olla harvaa. ATS Ydintekniikka ja syysseminaari ovat vuodesta toiseen käytännössä ainoat konkreettiset manifestaatit ydintekniikan alan ammattikunnan olemassaolosta Suomessa. Mitä vitalisuudestamme kertoo se, että lehden ongelmat kärjistyivät viime vuoden lopussa ajatuksen sen ilmestymistiheyden puolittamisesta? Entä jos syysseminaarin tarjoilut jätetään seuraavalla kerralla pois, kun niille ei löydy maksajaa?

Lähdin puheenjohtajaehdokkaaksi, koska minusta ATS:n on uudistuttava hyvän sään ai-

kana. Kun tutkin talven jäsenkyselyn tuloksia ja avokommentteja, havaitsin, että jotain uutta kaipaa myös moni muukin.

Onnistunut uudistuminen edellyttää päätäväisyyttä ja suunnitelmallisuutta. Kevään strategiatyössään johtokunta on kiteyttänyt tulevaisuuden vahvan ATS:n peruselementit ja muotoillut näiden varaan rakentuvan kestävä vision seuralle. Keskustelu strategiasta on tärkeää, sillä seura on yhtä kuin sen jäsenistö.

Muutos voi näyttäytyä myös uhkaavana. Irritioitoja on jo aiheuttanut pelko siitä, että ATS on muuttumassa energiapolitiittiseksi toimijaksi, ydinvoimalobbaajaksi. Tämä ei ole minun päämääränäni ja vastustan tällaista kehitystä. Silti, ATS:n sääntöjen mukainen tarkoitus edellyttää minusta nykyistä aktiivisempaa osallistumista yhteiskunnalliseen dialogiin alan ammattilaisia laajasti edustavan tieteellisen yhteisön asemassa.

Ketjureaktio alkaa ensimmäisen ytimen halkaisemisella. ATS:n uudistukset alkavat näkyä ja tuntua nyt alkavan viidennenkymmenennen juhluvuoden aikana. Ja kun syksyllä 2016 järjestetään ensimmäiset suomalaisen ydintekniikan päivät, seuramme on monipuolisempi, laajempi ja laadukkaampi kuin koskaan.

**DI Kai Salminen**

Johtokunnan puheenjohtaja  
ATS

**T**HE BOARD OF THE SOCIETY is perhaps younger than ever. Despite of this fact – or maybe due to it – the Board has adopted a challenging objective of reforming Finnish Nuclear Society. Reformation plans are discussed in several articles in this issue of the journal.

I've been involved in the activities of the society since year 2000 when secretary of the Board Jarmo Ala-Heikkilä asked my interest to serve as the excursion secretary. During the last 15 years I've also gained experience in running the Young Generation activities, being the editor-in-chief of ATS Ydintekniikka and serving as a member of the Board of the society.

The world is not what it was 15 years ago. The environment we operate in has changed even more from the times that most of the activities of the society were established. We're a society with a strong past, but do we want to be a society of the past?

We're all familiar with the thought formulated by Darwin that it is not the strongest of the species that survives, nor the most intelligent; it is the one that is most adaptable to change. By intuition we assume that a change is al-

ways abrupt and radical, a comet's strike. In anthropology equally interesting is a change that is almost undetectably slow but inevitable. That is when the human inclination to postpone any change to the current state until it is too late becomes fatal.

The vitality of the FNS could be a delusion. ATS Ydintekniikka and the annual fall seminar are in practice year after year the only tangible manifestations of existence of the nuclear profession in Finland. What does it tell from our vitality that the problems with this journal came last autumn into the point where halving its publishing frequency had to be considered? Or what if the next fall seminar will be arranged without cocktails because there is no sponsor for them?

I decided to run for presidency of the society because I believe we need a reform before it's too late. When studying the results and open comments of the last winter's member survey I realized that many members yearn for something new as well.

Determination and planning are prerequisites for success in the reform. In the strategy work this spring the Board has crystallized the

basic elements of a strong FNS and formulated a lasting vision based on these. Discussion of the strategy is important because the society is equal to its members.

The change can also be seen as a threat. Already the fear of FNS transforming into an energy policy actor – a lobby – has led to decisions to take distance of the society. This is not my ambition and I object such a development. However, fulfilment of our purpose as stated in the constitution of the society calls in my opinion more active participation in the public dialogue in the role of a scientific society representing widely the professionals of the nuclear field.

Chain reaction starts by splitting the first nucleus. The revision of the society will become visible and perceptible during the commencing fifteenth anniversary. And when the first Finnish Nuclear Science Conference is arranged in the autumn of 2016, our society will be more versatile, extensive and high-quality than ever.

**Kai Salminen M.Sc. (Tech.)**

President of the Board  
FNS

# Jäsenistöltä seuralle hyvä yleisarvosana

ATS toteutti jäsenkyselyn seuran www-sivuilla 11.–27.2. välisenä aikana. Kyselyssä kartoitettiin jäsenistön tunteja seuran toiminnasta, sen tärkeydestä ja ATS Ydintekniikan kehityksen suunnasta.

**Teksti:** Tapani Raunio

**JÄSENKYSELYN SUUNNITTELU** lähti liikkeelle osana ATS Ydintekniikan kehityssuunnitelman valmistelua, mutta laajeni nopeasti kattamaan koko seuran toimintaa. Jäsenkyselyyn vastasi yhteensä 258 jäsentä, mikä vastaa 35 %:ä seuran jäsenistöstä. Kiitokset kaikille kyselyyn vastanneille! Tässä kirjoituksessa käydään läpi jäsenkyselyn tulokset.

Vastaajilta kysyttiin taustatietoja, kuten ikä, asuinpaikka, osallistumisaktiivisuus ATS:n tapahtumiin, ja oliko vastaaja toiminut ATS:n toimihenkilönä. Kyselyyn vastanneista viidennes oli toiminut jossain vaiheessa seuran toimihenkilönä tai johtokunnassa. Vastaajien ikäkauma noudatti melko hyvin seuran jäsenistön ikäjakaumaa. Ainoastaan yli 65-vuotiaiden jäsenien vastausprosentti oli lähes kaksinkertainen verrattuna muihin ikäryhmiin. Suurin yksittäinen vastaajaryhmä oli YG-ikäiset eli alle 36-vuotiaat.

## ATS Ydintekniikan kohtalo paperilehtenä

ATS Ydintekniikka sai kouluarvosanakseen 8,2, mikä on hyvä tulos ottaen huomioon lehden toimitusvaikeudet. Useampi vastaaja piti ATS Ydintekniikan myöhästymisiä ikävinä ja myös vapaamuotoisessa palautteessa kuu-

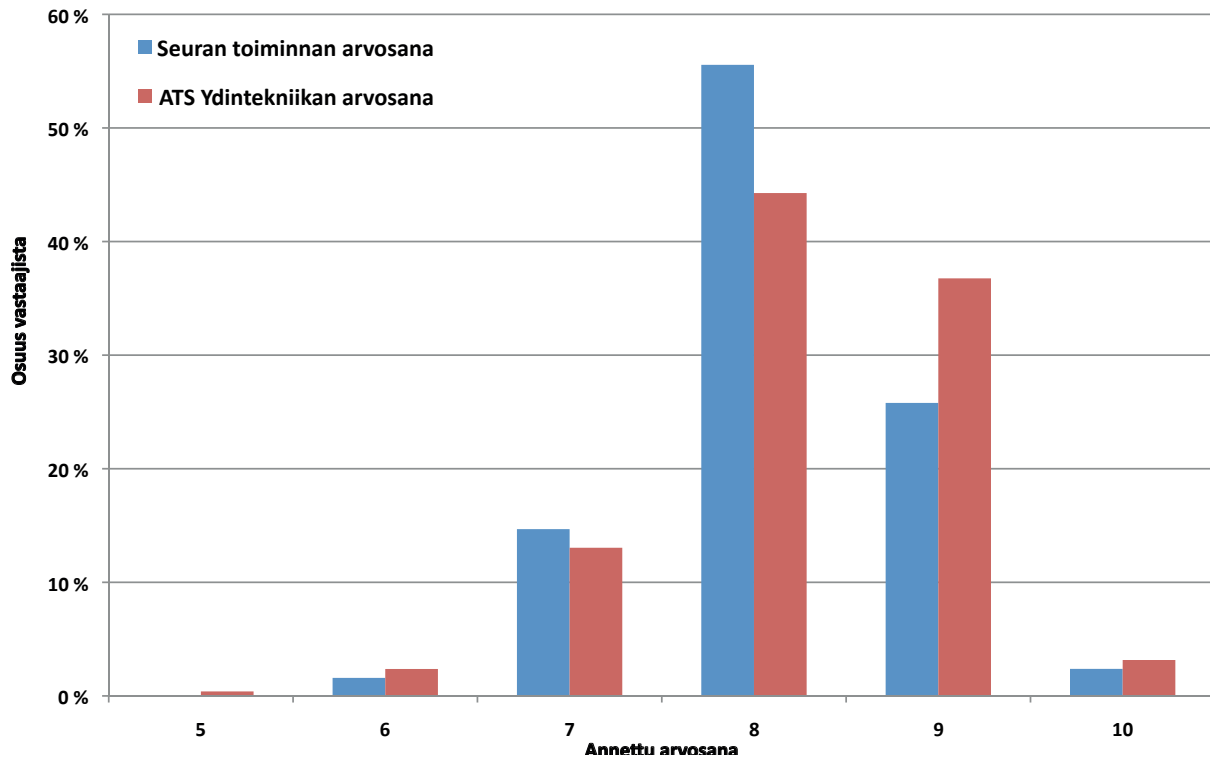
lutettiin voimakkaampaa sitoutumista lehden julkaisuajakatauluun johtokunnalta ja jäsenistöltä. ATS Ydintekniikka on jäsenistölle tärkeä, sillä 74 % vastaajista pitää lehden merkitystä jäsenyytensä kannalta joko tärkeänä tai ratkaisevana. Tämä näkyi myös palautteen määrässä, sillä neljännes kyselyyn vastanneista antoi lehdestä myös vapaamuotoista palautetta.

Vastanneista 65 % katsoi, että ATS Ydintekniikan tulee jatkossakin ilmestyä paperilehtenä. Avoimessa palautteessa suhtauduttiin positiivisesti joidenkin paperinumeroiden korvaamiseen e-lehdellä tai verkkojulkaisulla. Samalla myös muistutettiin, ettei paperiversion vaihtaminen verkkojulkaisuun vähennä merkittävästi työkuormaa. Verkkojulkaisun paremmuutta paperiversion perusteltiin sen nykyaikaisuudella ja kustannussäästöillä. Vastaavasti osa ihmisistä piti paperiversiota parempana ja suorastaan piristävänä. Asiaa pohiessa on syytä muistaa, että artikkelien tarve on määrällisesti vähintäänkin sama, vaikka osa ATS Ydintekniikan numeroista korvattaisiin verkkojulkaisulla.

ATS Ydintekniikan sisältöä pidettiin pääsääntöisesti hyvänä. Vastaajista 91 % piti artikkeleja mielenkiintoisina ja 87 % ajankohtaisina. Palautteessa tosin aiheellisesti todettiin, että lehden jatkuva myöhästyminen julkai-



**DI Tapani Raunio**  
Suunnitteluinsinööri  
Fortum  
tapani.e.raunio@fortum.com



Seuran toiminnalle ja ATS Ydintekniikalle annettiin keskimäärin hyvä arvosana.

suaikataulusta verotti artikkelien ajankohtaisuutta.

Osana lehden kehityssuunnan pohdintaa kysyttiin jäsenistöltä mielipidettä, voisiko suuri osa ATS Ydintekniikan sisällöstä olla vieraalla kielellä kirjoitettu. Kysymykseen vastanneista 60 % oli sitä mieltä, että suurin osa lehden sisällöstä tulee olla kotimaisella kielellä kirjoitettuna. 27 % vastaajista ei pitänyt lehden kielikysymystä tärkeänä.

Jäsenkyselyn tulosten perusteella ATS Ydintekniikka on jäsenistölle tärkeä. Lehdesä tärkeintä on vapaamuotoisen palautteen perusteella laadukkaat artikkelit. Lehden laatu nähtiin julkaisuaikataulussa pysymistä tärkeämmäksi. Selvä enemmistö vastaajista katsoi, että lehden jutut sisältävät alan tietoa, joka ei muuta kautta tavoittaisi kaikkia lehden lukijoita.

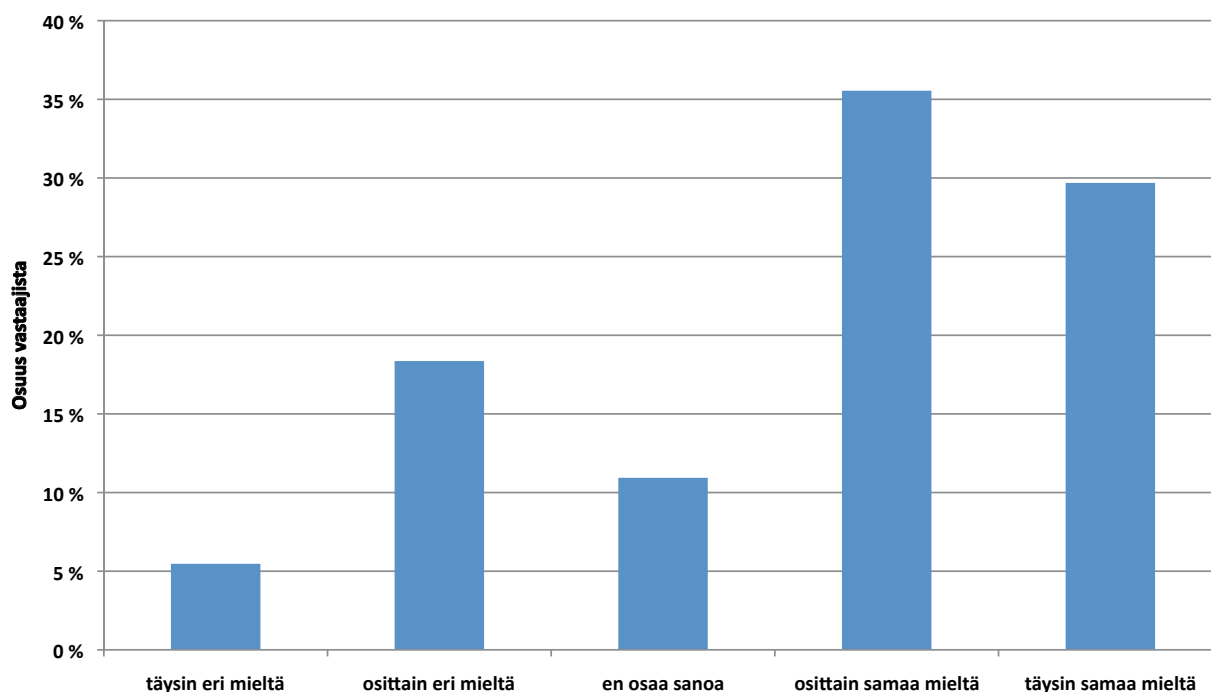
### Ajat muuttuvat, muuttuuko ATS?

Ydinvoima-alan näkymät ovat viimeisen vuosikymmenen aikana heitelleet paljon Suomessa ja kansainvälisesti. Seuran toiminta on näiden "tyrskyjen" läpi noudattanut vuosittain perinteistä kaavaa, mutta löytyykö perinteisestä kaavasta parantamisen varaa? Muutos ainakin arveluttaa jäsenistöä, sillä kyselyyn vastanneista ainoastaan 39 % haluaa seuran toiminnan uudistamista. Suuri osa vastanneista ei osaa tai halua ottaa kantaa seuran toiminnan uudistamistarpeeseen. Pieniä muutoksia on seuran toimintamuodoissakin vuosien aikana tapahtunut. Uudehkona toimintamuotona on vakiintunut Senioreiden aktiivinen toiminta. Valitettavasti samaan aikaan Energiakanavan toiminta on hiipunut horrokseen ainakin väliaikaisesti.

Seuran toiminnan arvosanaksi annettiin 8,1. Tätä voidaan pitää hyvänä, varsinkin kun seuran toiminta vastasi ainoastaan 79 %:n odotuksia. Ottaen huomioon, että seuran toimintamuodot ovat viime vuosina olleet perinteisiä, voitaneen tulokset tulkita pieneksi epätyytyväisyydeksi toiminnan toteutukselle.

Kolme neljästä vastanneesta arvioi, että seuran jäsenyydestä on ammatillista hyötyä. Toisaalta vain 41 % oli valmis maksamaan nykyistä suurempaa jäsenmaksua, jos seuran toiminnan merkitys kasvaa. Muutama myös mainitsi eroavansa seurasta, jos jäsenmaksua korotetaan. Tuloksista syntyy vaikutelma, että seuran jäsenyyden merkitys ammatillisesti ei ole suuri.

Yksi tapa arvioida tyytyväisyyttä seuran toimintaan on ihmisten eroamisherkkyys. 6 %



*Enemmistö puolsi ATS Ydintekniikan säilyttämistä paperilehtenä, mutta eriäviä mielipiteitä oli myös merkittävä osuus.*

vastanneista on viime aikoina harkinnut seurasta eroamista. Oletettavasti eroamista pohittavien ihmisten osuus koko jäsenistöstä on vielä hieman suurempi, koska jäsenkyselyyn vastaaminen osoittaa jo verrattain pientä aktiivisuutta vastaajilta. Lisäoletuksena on, että aktiivisemmat jäsenet pysyvät hanakammin seuran jäsenenä kuin passiivisemmat jäsenet.

Jäsenkyselyssä kysyttiin vapaamuotoista palautetta seuran kehittämisestä. Avoimissa vastauksissa useampi henkilö toivoi ATS:ltä asiantuntijan roolia mediassa. Toinen useammassa vastauksessa esille noussut toive oli ammatillisen verkostoitumisen vahvistaminen ja kolmantena jäsentilaisuuksien sijainti. Jäsentilaisuuksia toivottiin myös pääkaupunkiseudun ulkopuolelle, koska jäseniä asuu hyvin paljon myös muualla. Erääksi ratkaisuksi ehdotettiin

Avoimissa  
vastauksissa useampi  
henkilö toivoi ATS:ltä  
asiantuntijan roolia  
mediassa.

ATS:n tilaisuuksien välittämistä videona muille jäsenille, joko viiveellä tai suorana.

Jäsenkyselyllä pyrittiin kartoittamaan myös seuran toimintamuotojen tärkeyttä jäsenistölle. Vastaajia pyydettiin arvioimaan eri toiminta-

muotojen merkittävyyttä vastaajan oman jäsenyyden kannalta. Tärkeimmät toimintamuodot vastaajille ovat suuruusjärjestyksessä ATS Ydintekniikka, syysseminaarit, YG-toiminta, jäsenkokoukset ja ekskursiot. Yli 65-vuotiaat vastaajat arvostivat Senioritoiminnan yhtä tärkeäksi kuin seuran lehden.


### Vertailu vuoden 2011 tuloksiin

Edellinen ATS Ydintekniikan jäsenkysely tehtiin kesällä 2011 ja lyhyt yhteenveto tuloksista ilmestyi ATS Ydintekniikassa 3/2011. Vuoden 2011 kyselyssä keskityttiin enemmän työryhmien toimintaan ja vuoden 2015 kyselyssä painotettiin ATS Ydintekniikkaa, seuran toiminnan merkitystä jäsenistölle ja tyytyväisyyttä seuran toimintaan. 2011 kyselyssä

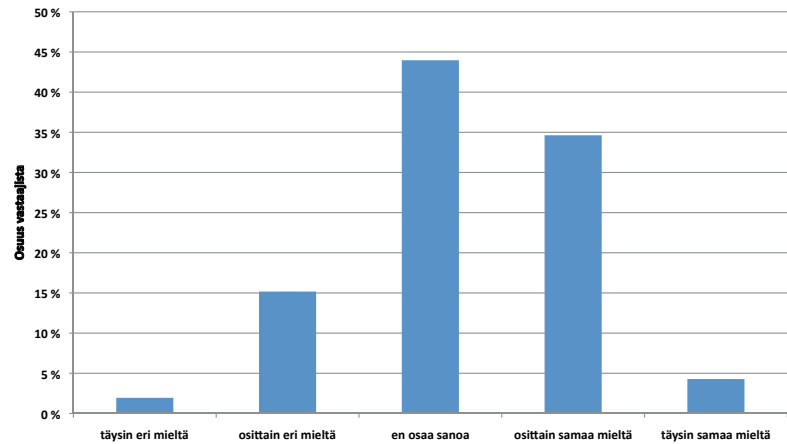
oli kysymysten vastausvaihtoehtona ainoastaan ”kyllä” ja ”ei”. Tämän vuoden kyselyssä vastausvaihtoehtoja oli yleensä viisi: ”täysin samaa mieltä”, ”osittain samaa mieltä”, ”en osaa sanoa”, ”osittain eri mieltä” ja ”täysin eri mieltä”. Tämä huomioon ottaen voidaan muutaman kysymyksen vastauksia vertailla toisiinsa.

Vuoden 2011 ja 2015 kyselyssä 77 % vastaajista arvioi jäsenyydestä olevan heille hyötyä ammatillisesti. Muissa vertailuissa kysymyksissä vastaajat eivät olleet vuonna 2015 yhtä positiivisia. Osa laskusta voidaan selittää vastausvaihtoehtojen määrässä, sillä 2015 kyselyssä yli 10 % vastaajista ei ottanut vertailtuihin kysymyksiin kantaa. Nämä kolme kysymystä olivat:

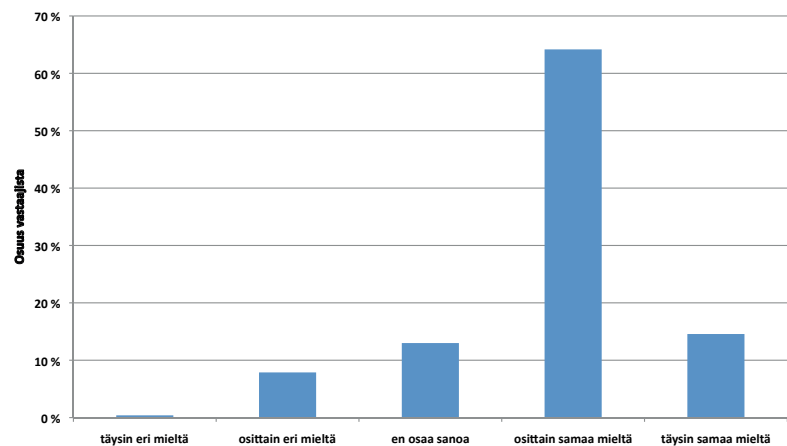
- Jäsentilaisuudet ovat mielenkiintoisia ja ajankohtaisia: vuoden 2011 kyselyssä 98 % vastaajista oli samaa mieltä, vuonna 2015 enää 82 % oli samaa mieltä ja 14 % ei ottanut kantaa asiaan.
- Seuran toiminta vastaa odotuksiasi: vuoden 2011 kyselyssä 94 % oli samaa mieltä, vuonna 2015 enää 79 % oli samaa mieltä ja 13 % ei ottanut kantaa asiaan.
- ATS Ydintekniikan jutut sisältävät tietoa, joka ei muuten tavoittaisi siitä kiinnostuneita: vuoden 2011 kyselyssä 98 % oli samaa mieltä, vuonna 2015 enää 86 % oli samaa mieltä ja 11 % ei ottanut kantaa asiaan.

ATS Ydintekniikan aikataulusta myöhästely keräsi molemmissa kyselyssä kritiikkiä. Samoin molemmissa jäsenkyselyssä nousi esiin toive, että tapahtumia järjestettäisiin enemmän pääkaupunkiseudun puolella. 

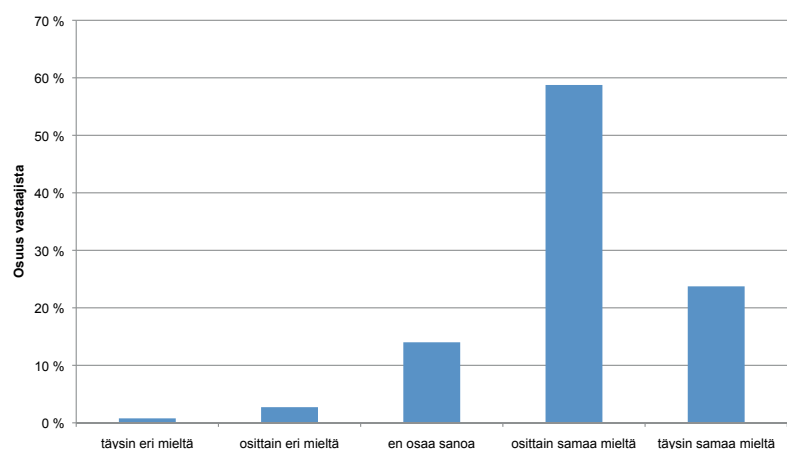
Kirjoittaja toimi ATS:n johtokunnan varapuheenjohtajana 2014.



*Seuran jäsenet eivät pidä toiminnan uudistamista tai muutosta itseisarvona.*



*Harva vastanneista kokee seuran toiminnan epätydyttäväksi.*



*Seuran tilaisuuksien ohjelma on viime vuosina pysynyt mielenkiintoisena.*



# Väitös: Innovatiivisten kaasujäähdytteisten reaktorien mallinnus

Heikki Suikkanen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Väitöstyössä tutkittiin kaasujäähdytteisen kuulakekoreaktorin polttoaine-elementtien pakkautumista dis-kreettielementtimenetelmällä (DEM) ja kehitettiin menetelmiä hyödyntää pakkaustarkastelujen tuloksia reaktorisydämen Monte Carlo -reaktorifysiikkalaskennassa ja porositeettimenetelmään perustuvassa termohyd-rauliikkalaskennassa. Lisäksi tutkittiin kaasujäähdytteisen nopean reaktorin polttoainesauvan jäähdytyksen tehostamista virtauksen turbulenssia kasvattavilla pintarakenteilla laskennallisen virtausmekaniikan (CFD) laskentamenetelmillä.

**K** aasujen, käytännössä heliumin, käyttämistä reaktorijäähdytteenä puoltavat useat seikat. Helium ei juurikaan vuorovaikuta neutronien kanssa, on kemiallisesti inertti ja pysyy yksifaasisena. Suurimpana heikkoutena heliumjäähdytteellä on tehokkaan lämmönsiirron vaatima korkea käyttöpaine, joka tosin on samaa luokkaa kuin kiehutusvesireaktoreissa.

Ensimmäiset kaasujäähdytteiset tehoreaktorit kehitettiin Isossa-Britanniassa ja Ranskassa 50-luvulla, ja vielä nykyisinkin Isossa-Britanniassa tuotetaan sähköä viidellätoista kaasujäähdytteisellä reaktorilla. Näissä ensimmäisen ja toisen sukupolven reaktoreissa jäähdytteenä käytetään hiilidioksidia. Toistaiseksi kaasujäähdytteisten reaktorien kehityksen hui-pentumana voitaneen pitää USA:ssa ja Saksassa kehitettyjä korkean lämpötilan heliumjäähdytteisiä reaktoreja, joissa polttoaine oli grafiittielementteihin sidottuina pieninä päällysteisinä jyvänä. Saksalainen reaktori toteutettiin poikkeuksellisesti muodostamalla reaktorisydän pallon muotoisista polttoaine-elementeistä, joita voitiin lisätä ja poistaa käytön aikana.

Kaasujäähdytteisten reaktorien kehitys hiipui länsimaissa 80-luvulla, mutta tekniikka on myöhemmin herättänyt uutta kiinnostusta yhtenä mahdollisena neljännen sukupolven reaktorityyppinä. Saksalaiseen perintöön perustuva, kahdesta reaktorimoduulista koostuva kuulakekolaitos on parhaillaan rakenteilla Kiinassa ja sen arvioidaan liittyvän verkkoon vuonna 2017.

Termisten reaktorien lisäksi myös nopealla neutronispektrillä toimivaa kaasujäähdytteistä reaktoria on kaavailtu, joskin tekniikan demonstroiminen aivan lähitulevaisuudessa lienee epätodennäköistä. Suurena haas-

teena reaktorin suunnittelussa on riittävän jäähdytyksen turvaaminen häiriötilanteissa, sillä toisin kuin termisessä kaasujäähdytteisessä reaktorissa, sydäimestä puuttuu lämpöä tehokkaasti sitova ja johtava grafiitti.

## Kuulakekoreaktorin mallinnus

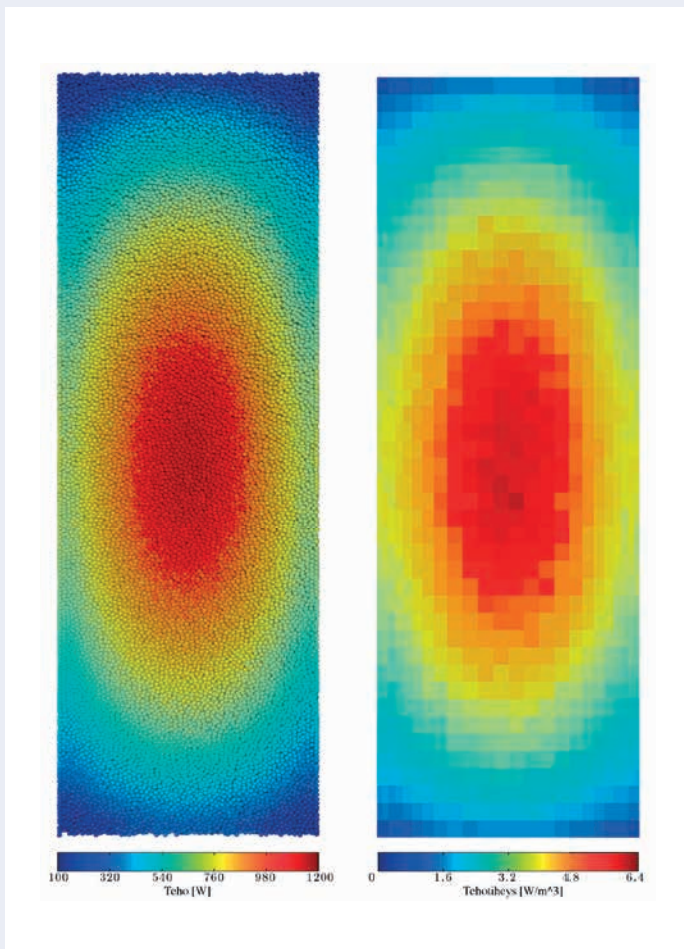
Kuulakekoreaktorin sydän muodostuu epäsäännöllisesti pakkautuneista, halkaisijaltaan 6 cm:n kokoisista polttoainekuulista, joita täysikokoisessa reaktorissa on useita satoja tuhansia. Kuulien pakkautumista reaktorissa tutkittiin DEM-menetelmällä, jossa kuulien väliset mekaaniset vuorovaikutusvoimat ratkaistaan toistensa kanssa kosketuksissa oleville kuulille simulaation jokaisella aika-askeleella, jonka jälkeen koko kuulasysteemin tila päivitetään Newtonin liikeyhtälöiden mukaisesti. Työssä käytettiin LUT:ssa kehitettyä DEM-koodia ja kahta ilmaista avoimen lähdekoodin ohjelmistoa. Suuren kuulamäärän tarkastelu on laskennallisesti varsin raskasta, joten simulaatiot ajettiin pääosin LUT:n rinnakkaislaskentaklustereilla.

Työssä tarkasteltiin eri parametrien vaikutusta DEM-simulaation lopputuloksena syntyvän kuulakasan keskimääräiseen pakkaustiheyteen. Lisäksi pakkaustiheyden paikallista vaihtelua kuulakasassa tutkittiin yksityiskohtaisemmin, muun muassa hyödyntämällä ns. Voronoi-tes-selaatiota kuulakohtaisten pakkaustiheysarvojen laskemisessa.

Pakkaussimulaatioita hyödynnettiin myös tarkentamaan reaktori-fysiikan laskentamalleja tuottamalla realistisesti pakkautuneita reaktorisydängeometrioita. Työssä tarkasteltavana tapauksena oli Venäjällä ASTRA-koelaitteistolla tehty kriittisyyskokeet. DEM-simulaatioissa

muodostettiin satunnaisesti pakkautuneista kuulista muodostuvat ASTRA-sydänkonfiguraatiot, jotka siirrettiin sellaisenaan Monte Carlo reaktorifysiikkakoodi Serpentin kriittisyyslaskentaan.

DEM-simulaatioiden tulosten hyödyntämiseksi myös reaktorisydämen virtaus- ja lämmönsiirtolaskennassa ja näiden kytkemisessä yhteen reaktorifysiikan laskentamallin kanssa kehitettiin uusi menetelmä. Suuresta määrästäan johtuen kuulia ja niiden väliin jääviä virtausreittejä ei ole käytännöllistä mallintaa yksityiskohtaisesti CFD:llä, vaan laskenta-alueeseen muodostetaan verrattain karkea laskentaverkko. Kuulien muodostama virtausvastus huomioidaan laskentaverkon kopeissa ratkaistavissa säilyvyysyhtälöissä erillisillä, porositeetista riippuvilla lähdetermeillä. Työssä kehitettiin menetelmä, jolla pakkaussimulaatioissa muodostettujen kuulakasojen rakenne voidaan siirtää suoraan



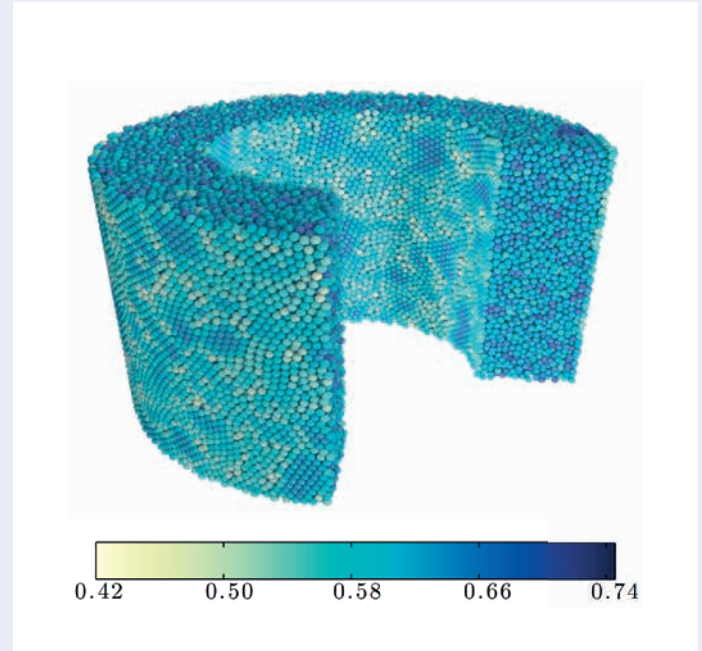
Kuva 1. Osa DEM-simulaatiossa muodostettua kuulakasa. Kuulien väri kuvaa yksittäisen kuulan pakkaustiheyttä.

kuulakasan päälle muodostettuun kolmiulotteiseen termohydrauliikan laskentaverkkoon kullekin verkon kopille laskettuna porositeettiarvona. Menetelmällä saadaan myös siirrettyä kuulakasan lämpötila ja tehojakaumat termohydrauliikan ja reaktorifysiikan laskentamallien välillä kytketyssä laskennassa.

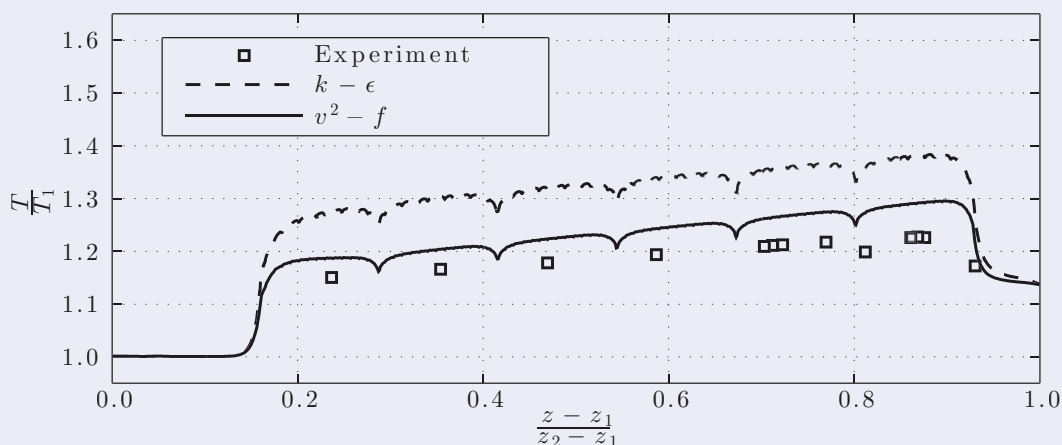
### Polttoainesauvan lämmönsiirtotarkastelut

Väitöstyön toisessa osassa tutkittiin lämmönsiirron tehostamista kaasujäähdytteen nopean reaktorin polttoainesauvageometriassa. Tutkimuksessa tehtiin CFD-mallien validointilaskuja käyttämällä vertailudatana Saksassa Karlsruhessa sijaitsevalla L-STAR-koelaitteistolla tehtyjen virtaus- ja lämmönsiirtokokeiden mittaustuloksia.

L-STAR on kiertopiiri, jossa virtaavana kaasuna käytetään ilmaa. Laitteiston varsinainen koeosio koostuu kuusikulmaisesta virtauskanavasta ja sen keskellä olevasta, termoelementeillä instrumentoidusta ja sähkövastuksilla lämmitettävästä sauvasta. Geometrialla pyritään kuvaamaan heksagonaalisessa hilassa olevan yksittäisen polttoainesauvan virtausaluetta. Kokeita tehtiin sileäpintaiselle sauvalle sekä



Kuva 2. Leikkauskuva sylinterinmuotoiseen sydäengeometriaan DEM-simulaatiossa pakatusta kuulakasasta, jossa kuulien väri kuvaa Monte Carlo reaktorifysiikkalaskennan tuloksena saatua lämpötehoa (vasemmalla). Kuulien teho siirrettyä termohydrauliikkamallin laskentaverkon koppeihin työssä kehitetyllä menetelmällä (oikealla).



Kuva 3. Rivoilla päällystetyn, vastuksilla lämmitetyn ja ilmavirtauksella jäädytetyn sauvan kokeissa mitattu ja kahdella eri turbulenssimallilla laskettu aksiaalinen lämpötilaprofiili. Sauvan kuusi erillistä lämmitysalueita erottuvat CFD-laskennalla saaduissa lämpötilajakaumissa.

poikkileikkaukseltaan neliönmuotoisilla renkailla päällystetylle saualle. Renkaat irrottavat sauvan pinnalle muodostuvan virtauksen rakakerroksen ja tehostavat konvektiivista lämmönsiirtoa.

Koeosioista rakennettiin yksityiskohtaiset kolmiulotteiset laskentamallit molemmille sauvageometrioille. Laskenta tehtiin ANSYS Fluent CFD-koodilla hyödyntäen ohjelmassa olevia Reynolds-keskiarvoistettuja turbulenssimalleja. Lämmönsiirron osalta huomioitiin myös johtuminen ja lämmöntuotto sauvan sisärakenteissa sekä säteilylämmönsiirto sauvan ja virtauskanavan seinämien välillä. Laskentaverkon mahdollisesti liian alhaisesta resoluutiosta laskentatuloksiin aiheutuva numeerista virhettä arvioitiin tekemällä hilariippuvuustarkasteluja kolmella eri hilaresoluutiolla.

Laskennan tulokset vastasivat koetuloksia varsin hyvin virtauksen painehäviöiden osalta. Sileän sauvan tapauksessa lämmönsiirron tulokset poikkesivat jossain määrin koetuloksista, mutta poikkeamat selittyvät kokeisiin liittyvillä epävarmuuksilla ja laskennassa huomioimattomilla lämpöhäviöillä. Renkailla päällystetyn sauvan tapauksessa laskennassa käytetyllä lineaariseen pyörreviskositeettiin perustuvalla realisoituvalla k-epsilon turbulenssimallilla lämmönsiirto jäi merkittävästi alhaisemmaksi kuin vastaavissa kokeissa. Fysikaalisesti oikeellisempia mutta laskennallisesti raskaampia Reynoldsin jännitysmalleja käytettäessä ongelmaksi muodostui laskennan heikko konvergoituminen. Ratkaisu löydettiin mallien välimaastosta harvemmin käytetystä v2-f turbulenssimallista, joka vastaa konvergenssiominaisuuksiltaan k-epsilon mallia, mutta kykenee Reynoldsin jännitysmallien tavoin kuvaamaan paremmin tiettyjä ilmiöitä. Mallia käyttämällä laskentatulokset paranivat lämmönsiirron osalta merkittävästi.

Väitöstilaisuus pidettiin 5.12.2014 Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla. Väitöstyön ohjaajana toimi professori Riitta Kyrki-Rajamäki ja vastaväittäjänä johtava tutkija, TKT Timo Pättikangas VTT:ltä. Väitöskirja on julkaistu yliopiston Acta Universitatis Lappeenrantaensis -tutkimussarjassa numerolla 610. Väitöskirja on luettavissa sähköisessä muodossa osoitteessa urn.fi/URN:ISBN:978-952-265-699-5

#### Kirjoittaja



**TKT Heikki Suikkanen**

Tutkijatohtori  
Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
heikki.suikkanen@lut.fi

# Vuosikokouksessa valittiin viisi uutta jäsentä johtokuntaan

Suomen Atomiteknillisen Seuran vuosikokous järjestettiin perinteisesti Tieteiden talolla Helsingissä maanantaina 2.3.2015.

**Teksti:** Henri Loukusa



**DI Henri Loukusa**  
Sihteeri  
ATS  
sihteeri@ats-fns.fi

**V**UOSIKOKOUKSESSA käsiteltiin toimintakertomus vuodelta 2014 ja toimintasuunnitelma vuodelle 2015. Paikalle saapui 41 henkilöä, mutta kullekin jäsenelle etukäteen toimitetuista toimintakertomuksesta ja -suunnitelmasta voi kokoukseen osallistumatonkin tutustua seuran edellisvuoden toimintaan ja suunnitelmiin tulevasta.

Vuosikokouksessa valittiin seuralle uusi johtokunta. Suuri osa, neljä henkilöä, edellisvuoden yhdeksänhenkisestä johtokunnasta vaihtui, ja lisäksi johtokunta pieneni kahdeksanhenkiseksi, kun VTT:ltä valittiin vain yksi edustaja johtokuntaan. Sekä puheenjohtaja Liisa Heikinheimo, varapuheenjohtaja Tapani Raunio, sihteeri Anna Nieminen ja johtokunnan jäsen Timo Vanttola olivat palvelleet johtokunnassa täydet kolme vuotta. Lisäksi rahastonhoitaja Arto Ylönen ja johtokunnan jäsen Juhani Palmu jättäytyivät pois johtokunnasta kahden vuoden jälkeen. Uudeksi puheenjohtajaksi valittiin Kai Salminen Fortumilta, sihteeriksi Henri Loukusa VTT:ltä, rahastonhoitajaksi Lauri Pyy LUT:sta ja lisäksi uusiksi johtokunnan jäseniksi valittiin

Tuomas Rantala TVO:lta ja Lasse Koskinen Posivalta.

ATS Ydintekniikka -lehden toimituskunta valitsee vuosittain lehden parhaan artikkelin, jonka kirjoittajalle luovutetaan Erkki Laurila -palkinto seuran vuosikokouksessa. Tänä vuonna Erkki Laurila -palkinnonsaajaksi valittiin Klaus Sjöblom artikkelillaan ”Tutki tuulen suuntaa... kestät sen kyllä”, joka ilmestyi ATS Ydintekniikan numerossa 2/2014. Lehden toimituksen perustelut kuuluivat seuraavasti: ”Hauskasti esitetty ja hyvin kirjoitettu artikkeli aiheesta joka muistuttaa lukijoita varautumistoimenpiteiden laajuudesta niissäkin tilanteissa, joita todennäköisyyspohjaisten laskelmien perusteella tapahtuu erittäin harvoin”.

Sääntömääräisten asioiden jälkeen vuosikokouksessa kuultiin myös kaksi esitelmää Posivalta. Vesa Ruuska kertoi loppusijoituslaitoksen luvituksesta ja Erkki Palonen Posivan tulevaisuudensuunnitelmista. Vesa Ruuska kertoi esityksessään Posivan olevan saamassa rakentamisluvan ja käsillä on siirtymisen toteutusvaiheeseen, joka vaatii kui-

*Vuonna 2014 parhaan kirjoituksen  
ATS Ydintekniikkaan laati Klaus Sjöblom.  
Hänelle myönnettiin vuosikokouksessa  
Erkki Laurila -palkinto.*

tenkin vielä Posivan hallituksen ja STUKin päätökset. Toteuttamisvaiheessa on vielä tarkennettava loppusijoituskonseptin toimivuuden ja pitkäaikaisturvallisuuden osoittamista koskevia suunnitelmia, teknisiä suunnitelmia ja resursseja sekä menettelytapoja. Erkki Palonen kertoi esityksessään Posivan suunnitteleman toteutusvaiheeseen siirtymistä vuonna 2017. Kesällä 2015 valmistuu nostinlaitarakennuksen toinen vaihe, kapselointilaitoksen rakentamista on alettu valmistella ja loppusijoituslaitoksen suunnittelussa on meneillään tarjousvaihe. Keskeisimmät avoimet turvallisuusarvioinnit ovat kapselin eristystoiminnon loppumisen esimerkiksi kalliosierrosten yhteydessä tai kuparin korroosion vuoksi ja savibarriäärien toiminnan varmistaminen. ☼



## Uusien johtokunnan jäsenten esittelyt

### Kai Salminen

Johtokunnan uusi puheenjohtaja Kai Salminen on 38-vuotias teknillisen fysiikan diplomi-insinööri Espoosta, joka työskentelee Fortumissa vanhempana asiantuntijana. Kai on ollut mukana ATS-toiminnassa vuodesta 2000 lähtien ekskursionsihteerinä, ATS Ydintekniikan päätoimittajana ja toimituskunnan jäsenenä sekä johtokunnan jäsenenä vuosina 2009–2011. Harrastuksina, se mitä nelilapsisen perheen isältä sellaisille aikaa jää, Kaila on salibandy, juokseminen ja golf. ATS:n puheenjohtajaehdokkaaksi Kai lähti omien sanojensa mukaan ”halulla uudistaa kohta 50 vuotiaan seuran toimintaa”.

### Henri Loukusa

Henri Loukusa on työskennellyt VTT:llä polttoainemallinnuksen parissa vuodesta 2013 ja valmistui diplomi-insinööriksi vuonna 2014 Aalto-yliopiston kemian tekniikan korkeaa-

koulusta. Hänen työtehtävänsä VTT:llä keskittyvät VTT:n polttoainekoodi FINIXin kehitykseen ja polttoaineen kemian mallintamiseen. Aikaisemmin hän on työskennellyt myös STUKin ympäristövalvontaosastolla.

### Lauri Pyy

Lauri Pyy on työskennellyt LUT School of Energy Systemsin ydintekniikan tutkimusryhmässä projektitutkijana vuodesta 2012 lähtien. Työssään hän keskittyy termohydrauliseen tutkimukseen. Pyy on koulutukseltaan energiatekniikan diplomi-insinööri ja opiskeli LUT:ssa erikoistuen ydinvoimatekniikkaan.

### Tuomas Rantala

DI Tuomas Rantala on vuodesta 2010 toiminut TVO:n polttoainehankinnassa polttoaineinsinöörinä erikoisalanaan ydinpolttoaineketjun alkupää uraanikaivokselta polttoainetehtaal-

le. Vuosina 1999–2010 hän osallistui sähköverkkojen verkkotietojärjestelmien kehitystyöhön Tekla Oyj:ssä vastaten loppuvuosina järjestelmäasiantuntijana tuotteiden laadunvarmistuksen hallinnoinnista ja prosessien kehittämisestä. Tuomas on valmistunut Aalto-yliopiston Teknillisen fysiikan koulutusohjelmasta. Hänen diplomityönsä käsitteli ydinpolttoainekierron alkupään tekijöitä.

### Lasse Koskinen

FL Lasse Koskinen on työskennellyt vuodesta 2007 Posivalla ryhmäpäällikkönä. Hänen työtehtäviinsä kuuluvat pitkäaikaisturvallisuuden turvallisuusperustelut. Aikaisemmin hän on työskennellyt myös VTT:llä vuosina 2001–2007. Lisensiaatintutkintonsa teoreettisesta/laskennallisesta fysiikasta hän on suorittanut Jyväskylän yliopistossa.

# Muistoissa

**S**UOMEN ATOMITEKNILLISEN Seuran perustajajäsenet Pekka Jauho ja Kalevi Numminen siirtyivät ajasta ikuisuuteen peräkkäisinä päivinä maaliskuun lopussa.

Heidät molemmat oli myös nimitetty Seuran kunniajäseniksi. ATS:n perustaminen käynnistyi ns. atomivaltuuskunnan lounaan yhteydessä 12.4.1966 Ravintola Königissä. Lounasseurue keskusteli atomitekniikan piirissä toimivan seuran tarpeellisuudesta. Akateemikko Erkki Laurilan ehdotuksesta paikalle kutsuttiin TKK:n professori Pekka Jauho kokouksen puheenjohtajaksi. Jauhon saavuttua päätettiin

hänen johdolla käydyssä keskustelussa perustaa komitea valmistelemaan seuran perustamista. Tämän tärkeän keskustelun tulokset kirjasi Königin kirjepaperille diplomi-insinööri Kalevi Numminen IVOSTa. 24.5.1966 pidetyn ATS:n perustavan kokouksen puheenjohtajana toimi Jauho ja sihteerinä Numminen, ja he olivat myös ensimmäiset näissä tehtävissä uuden seuran johtokunnassa.

## Pekka Jauho

17.4.1923–28.3.2015

**A**KATEMIKKO, Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen VTT:n entinen pääjohtaja ja Teknillisen korkeakoulun, nykyisen Aalto-yliopiston, professori Pekka Jauho kuului siihen tiede-, teknologia- ja kulttuurivaikuttajien joukkoon, joka rakensi perustan sodanjälkeisen Suomen jälleennrakentamiselle ja nousulle agrarivaltiosta korkeasti kehittyneeksi sivistysvaltioksi. Hän oli visionääri, joka varhain ymmärsi tieteellisen tutkimuksen ja kansainvälisyyden keskeisen merkityksen kansakunnan hyvinvoinnin rakentamisessa.

Jauhon sukujuuret olivat syvässä Pohjois-Pohjanmaalla, sukutilalla Kemijokivarressa ja koulukaupungissa Oulussa. Hän pysyi koko elämänsä sitoutuneena Pohjois-Suomen kult-

tuurin ja elinkeinoelämän edistämiseen muun muassa sanomalehti Kalevan johtokunnassa ja Oulun yliopiston perustamisvaiheissa.

Koulun jälkeen Jauho oli jatkosodassa hävittäjälentäjänä. Hän selvisi ilmataisteluista ja lukuisista pakkolaskuista ja kunnostautui myös hakemalla Messerschmitt-koneita Suomeen kesällä 1944.

Sodan jälkeen hän suoritti yliopisto-opintonsa ripeästi ja teki teoreettisen fysiikan väitöstutkimuksensa Lundin yliopistossa Ruotsissa. Oltuaan jonkin aikaa vakuutusyhtiö Kansan päämatemaatikkona hän siirtyi akateemikko Erkki Laurilan innostamana Teknilliseen korkeakouluun 1957. Sen teknillisen fysiikan osastosta tuli monien alojen käynnistäjä ja kehitysahjo Suomessa niin uusissa energi tekniikoissa kuin elektroniikassa ja tietokoneissa, lasereissa ja lääketieteellisessä fysiikassa ja sittemmin aivotutkimuksessa ja nanotieteissä.

Jauho vaikutti erityisesti tutkimuksen ja koulutuksen kehittämiseen ydinenergia-alalla sekä sen monimutkaisten järjestelmien hallintaan. Hän oli keskeinen toimija myös teoreettisen fysiikan aseman vahvistamisessa ja esimerkiksi yhteispuhjoismaisen Nordita-instituutin perustajajäsen. Hän oli useiden fyysikkosukupolvien innoittavana ja kannustavana kouluttajana.

VTT:n pääjohtajaksi Jauho siirtyi vuonna 1970 säilyttäen läheiset yhteydet tiedemaailmaan. Hän työskenteli tarmokkaasti VTT:n suuntaamiseen uusille tekniikan aloille, kansainväliseen yhteistyöhön sekä yritysten tutkimustyön vahvistamiseen.

Hän oli myös Suomen ja Neuvostoliiton tieteellisteknillisen komitean puheenjohtajana ja Suomen edustajana kansainvälisessä avaruusyhteistyössä. Hänet kutsuttiin myös Ranskan kunnialegioonan jäseneksi maiden välisen yhteistyön edistämisen ansioista.

Tieteen akateemikoksi Jauho nimitettiin 1987. Nimitykseen vaikutti hänen työnsä tieteen ja tekniikan tutkimuksen ja koulutuksen edistäjänä sekä hänen monipuolinen toimintansa talouden ja kulttuurin parissa. Hän toimi luottamustehtävissä muun muassa Valtion tiedeneuvostossa, Teknillisten Tieteiden Akatemiasa, Suomen Kulttuurirahastossa sekä Maanpuolustuksen tieteellisessä neuvottelukunnassa.

Pekka Jauho oli karismaattinen ja monella tavoin lahjakas, luottamusta herättävä ihminen. Hän oli oppilailleen ja alaisilleen esikuva, jossa yhdistyi eksaktien luonnontieteiden tinkimättömyys, monipuolinen kulttuuriharrastus ja pohjoisen ihmisen lämmin huumorintaju.

**Risto Nieminen  
Jorma Routti**

Kirjoittajat ovat Pekka Jauhon oppilaita ja ystäviä.



## Kalevi Numminen

26.3.1932–29.3.2015

**V**UORINEUVOS Kalevi Numminen oli Suomen energiateollisuuden merkittävä vaikuttaja ja yksi elinkeinoelämämme johtavia henkilöitä.

Numminen kirjoitti ylioppilaaksi Turun Toisesta Lyseosta 1951 ja valmistui Teknillisen Korkeakoulun sähkötekniikan osastolta 1957 huippuarvosanoin. Numminen oli aina teekkarihenkinen ja muisteli myöhemmin lämmöllä opiskeluaikaansa ja asumistaan ensimmäisten joukossa Otaniemen teekkarikylässä.

Varsinaisen uransa Numminen loi Imatran Voima Osakeyhtiössä (IVO), jossa toimi 40 vuotta eläkkeelle siirtymiseensä asti 1997.

Hänen kykyjään hyödynnettiin myös Teknillisessä Korkeakoulussa, jossa hän oman

toimen ohella opetti lukuisia teekkaripolvia assistenttina ja vt. professorina.

Nummisen vahvat alat, energiatalous ja säätötekniikka tulivat heti käyttöön IVO:n aloittaessa Naantalın voimalaitoksen rakentamisen, jossa hänen ideoimanaan toteutettiin maailman ensimmäinen ”yksinäppikäynnistys”. Hän oli aikaansa edellä myös digitaalitekniikan soveltamisessa voimalaitosuunnitteluun. Naantalissa käytettiin jo tietokoneavusteista suunnittelua, kun johdotuskaaviot tehtiin piirustuslaudalla sijaan koneen tulostamina taulukkoina.

Suomen siirtyminen ydinvoimakautteen vaati poliittisista syistä hyvin poikkeuksellisen toimintatavan, jonka toteuttaminen lankesi kuin itsestään Nummiselle. Hänen johtamansa projektiryhmä sai valmiiksi lähes mahdotomalta tuntuneen hankkeen sovitusajassa ja ankarat suomalaiset turvallisuusnormit täyttäen.

Onnistumista auttoivat puolen vuoden työskentely kanadalaisessa ydinvoimayhtiössä, nopeasti hankittu venäjän kielen taito ja hänen kehittämänsä uudenlainen ”amebaorganisaatio”, jossa jokainen ryhmä vastasi siitä, että kaikki osatehtävät tulivat hoidetuksi. Itse hän oli kaikkeen osallistuva projektipäällikkö.

Huippuhetki koettiin 23.3.1977, kun presidentti Urho Kekkonen ja Neuvostoliiton pääministeri Aleksei Kosygin vihkivät Loviisa I:n.

Onnistuneen projektin jälkeen tie vei IVO:n johtokuntaan ja viisi vuotta myöhemmin Numminen nimitettiin 50-vuotiaana 50-vuotiaan IVO:n neljänneksi toimitusjohtajaksi. Hänen tapansa johtaa oli sama kuin projektissakin. Firmassa oli hyvä henki. Myös johtokunta vaihtoi oli kuin yhtä suurta perhettä.

Saumaton yhteishenki olikin tarpeen, kun virastomaisesta energiayhtiöstä ryhdyttiin muovaamaan kilpailussa pärjäävää kansainvälistä toimijaa. Kasvua etsittiin naapurimaista ja sähkömarkkinansa avanneesta Englannista. Nummisen sydäntä lähellä ollut IVO-Enginee-

ring laajeni Unkariin ja Kaukoitään. Loviisan kolmatta yksikköä varten suunniteltua konseptia VVER-91:tä Numminen pääsi esittelemään kiinalaisille ulkomaankauppaministeri Paavo Väyrysen matkassa lokakuussa 1992. Suunnittelusopimus allekirjoitettiin 1993. Tianwanin 1-yksikön rakennustyöt alkoivat lokakuussa 1999 ja kaupallinen käyttö toukokuussa 2006.

Numminen sai yhtiönsä kovaan kasvuun. Vuodesta 1990 vuoteen 1997 IVO:n liikevaihto kasvoi keskimäärin yli 14 prosentit vuosivauhdilla eli jopa kiivaammin kuin Nokian. Hän saikin jättää seuraajilleen elinvoimaisen ja kilpailukykyisen yhtiön siirtyessään eläkkeelle huhtikuussa 1997.

Numminen vaikutti laajalti Suomen elinkeinoelämässä, hän oli energiayhtiöiden lisäksi hallituksissa tai hallintoneuvostoissa muun muassa Sammossa, KOP:ssa ja Kymmene Oy:ssä.

Ansioistaan Nummiselle on myönnetty Suomen Leijonan I luokan komentajamerkki ja lukuisia ulkomaisia arvomerkkejä: Order Druha (venäläinen), Chevalier dans l'Ordre National de la Legion d'Honneur (ranskalainen) ja Kungliga Nordstjärneordens kommandörstrecken (ruotsalainen). Hän oli tekniikan tohtori, hc. Sotilasarvoltaan hän oli kapteeni.

Vapaa-aikaansa Numminen vietti kaikkein mieluiten Pipsa-vaimon kanssa mökillä Sammatissa. Siellä viihtyivät myös lapset, lapsenlapset ja heidänkin lapsensa. Vastapainona insinööriyölle Numminen hoiti Sammatin puutarhaa taidolla ja intohimolla.

### Kalervo Nurmimäki

Kirjoittaja on Kalevi Nummisen pitkäaikainen työtoveri ja ystävä sekä Imatran Voiman viimeinen toimitusjohtaja

Muistokirjoitukset on uudelleenjulkaistu ATS Ydintekniikassa kirjoittajien ja Helsingin Sanomien luvalla. Esipuheen laati Eero Patrakka.



# ATS:n vaalipaneelin teemana ydinvoima, hyvinvointi ja Suomi

17.3. järjestettyyn paneeliin kutsuttiin eduskuntavaaliehdokasedustajat neljästä suurimmasta puolueesta ja vihreistä.

**Teksti:** Anna Nieminen

**A**TS:N vaalienaluskeskustelutilaisuuden tausta-ajatuksena oli ensisijaisesti tarjota jäsenille tietoa ehdokkaiden ydinvoimakannasta ja nostaa ydinvoima vaalikeskusteluun kohottaen myös seuran julkista profiilia. Alun perin tarkoituksena oli kutsua tilaisuuteen kaikkien eduskuntapuolueiden edustajat, mutta ajankäytöllisistä syistä osallistujat jouduttiin rajaamaan neljään suurimpaan puolueeseen ja vihreisiin. Eduskuntavaaliehdokaspanelisteina olivat: Lauri Heikkilä (perussuomalaiset), Joonas Räsänen (sosiaalidemokraatit), Kai Mykkänen (kokoomus), Jarno Lappalainen (vihreät) ja Vesa Helkkula (keskusta). Paneelikeskustelun puheenjohtajana toimi Eero Patrakka.

Tilaisuuden aluksi kuultiin alan professorien alustukset. Energiatalouden professori

Sanna Syri esitti muun muassa tilannearvion sähköntuotantokapasiteetin kehityksestä vuoteen 2050. Yleisen käsityksen mukaan ydinvoimakapasiteetin lisääminen johtaa laajamittaiseen sähkön vientiin. Monesti unohdetaan, että vanhat laitoksemme poistuvat käytöstä ja itse asiassa OL3 ja FH1 varmistavat vain tämänhetkisen ydinvoimatuotannon tason. Ydinvoimatekniikan professori Filip Tuomisto toi esiin omassa alustuksessaan, että tällä hetkellä tutkimukseen ja koulutukseen ohjatut resurssit eivät riitä uuden liiketoiminnan luomiseen vaikka potentiaalia ydinenergiateknologiaosaamisessa olisi.

## Ehdokkaat samoilla linjoilla ydinvoimakannassaan

Varsinaisen paneelikeskustelun alkaessa ehdokkaita pyydettiin esittämään oma ja puolueensa kanta ydinvoimaan. Puolueiden kannoissa ei ollut havaittavissa uusia avauksia. Sen sijaan ehdokkaiden hyvinkin samansuuntainen linja yllätti. Perussuomalaisten Heikkilä toi esiin, että valtiontaloutta voidaan tasapainottaa käyttämällä enemmän kotimaista energiaa ja yksi keino tavoitteen saavuttamisessa on kotimainen ydinenergia. Hän itse asiassa myönsi olleensa nuorempana ydinvoimaa vastaan, mutta oli sittemmin muuttanut linjaansa. SDP:n Räsänen mielestä tulisi tavoitella ennen kaikkea hiilineutraalia energiatuotantoa ja energiomavaraisuuden lisäämistä. Hän myönsi, että ydinvoiman lisärakentaminen voi olla yksi keino näiden tavoitteiden saavuttamisessa.

Hyvin samoilla linjoilla oli myös kokoomuksen Mykkänen, joka esitti myös konkreetti-

sempiä linjauksia energiaratkaisuista. Hänen mielestään Suomen tulee irtautua kivihieletä ja puolittaa riippuvuus tuontiöljystä. Tämä tavoite saavutettaisiin osin myös ydinvoiman avulla. Myös vihreiden edustaja Lappalainen myönsi, että ydinvoimalla tulee olemaan rooli globaalissa energiaratkaisussa. Keskustan Helkkula oli samoilla linjoilla: ydinvoimaa tarvitaan tulevaisuudessa. Hän ei kuitenkaan ollut valmis varauksettomasti kannattamaan mahdollista uuden ydinvoimalan rakentamista, vaan asiaa tulisi tarkastella tapauskohtaisesti.

## Tarkennettuja kysymyksiä

Tilaisuuden teeman – ydinvoima, hyvinvointi ja Suomi – mukaisesti kysyttiin ehdokkaiden näkemystä siihen, voiko hyvinvointi olla mahdollista Suomessa ilman ydinvoimaa. Vastauksessaan Heikkilä korosti erityisesti kotimaisen työn teettämistä hyvinvoinnin edistämiseksi ja totesi, että OL3 olisi todennäköisesti jo valmis, mikäli rakennustyömaalla olisi käytetty suomalaista työvoimaa. Myös Mykkäsen kanta kysymykseen vaikutti seuraavan puolueen profiilia, sillä hän toi esiin myös sähköyhtiöiden omistajien hyvinvoinnin. Räsänen puolestaan toisti jo professorien alustuksissaan esittämän ajatuksen siitä, että sähkön tuonti on kallista ja tämä raha on poissa hyvinvoinnista. Hieman yllättäen vihreiden Lappalainen jopa kritisoi Saksan päätöstä luopua ydinvoimasta: lisääntyneet CO2-päästöt eivät lisää hyvinvointia.

Ehdokkaita myös kysyttiin suoraan, miten he olisivat äänestäneet periaatepäätöksistä vuonna 2010, toki tämän hetken tietopohjan perusteella. SDP:n Räsänen ja kokoomuksen Mykkänen olisivat äänestäneet kaikkien kolmen hankkeen – FH1, LO3 ja OL4 – puolesta, keskustan Helkkula ei esittänyt kantaansa FH1-hankkeeseen, mutta olisi äänestänyt OL4-hanketta vastaan ja LO3-hankkeen puolesta. Myös perussuomalaisten Heikkilä olisi äänestänyt OL4-hanketta vastaan, mutta FH1:n puolesta. Hän ei esittänyt näkemystään LO3-hankkeeseen. Vihreiden Lappalainen olisi äänestänyt FH1- ja OL4-hanketta vastaan, mutta esitti osittain positiivisen äänen LO3-hankkeelle.

Ehdokkaiden kannat heijastelivat siis hyvin voimakkaasti vuoden 2010 jälkeen tullutta informaatiota hankkeista. Kaikki olivatkin yhtä mieltä siitä, että periaatepäätösprosessia tulisi yksinkertaistaa. Ydinvoimahankkeiden yhteiskunnan kokonaisedun mukaisuus olisi toki jatkossakin hyvä määrittää, kuten Lappalainen



**DI Anna Nieminen**  
Vastaava päätoimittaja  
ATS Ydintekniikka  
anna.nieminen@vtt.fi



totesi, mutta liian tarkkojen teknisten yksityiskohtien lukkoon lyöminen tässä vaiheessa on mahdollisesti turhaa. Tätä kantaa tuki myös Helkkulan maininta siitä, että poliitikot joutuvat tekemään PAP-prosessissa päätöksiä asioista, joita eivät todellisuudessa ymmärrä.

### Laajempia energiapoliittisia linjauksia

Mykkänen esitti, että valtiollisesti voitaisiin päättää energiastrategiasta, jossa määritettäisiin eri energiantuotantomuotojen osuudet. Esimerkiksi ydinvoiman kohdalla strategia määrittäisi kokonaiskapasiteetin, mutta ei sitä kuka tai missä ydinsähköä tuotettaisiin. Energiastrategiaa määritettäessä tulisi ensisijaisesti kiinnittää huomiota CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämiseen. Tästä kaikki ehdokkaat tuntuivatkin olevan yhtä mieltä. Syöttötariffit ja päästökauppa saivat kuitenkin kritiikkiä; energiaratkaisuissa tulisi kiinnittää huomiota myös markkinaehtoisuuteen, kuten Mykkänen totesi.

Tilaisuuden viimeinen kysymys koski EU:n roolia energiapolitiikassa. SDP:n Räsänen, kokoomuksen Mykkänen ja keskustan Helkkula pitivät EU:n energiapolitiikkaa onnistuneena, kun taas perussuomalaisen Heikkilä ja vihreiden Lappalainen epäonnistuneena. Heikkilän kanta lienee selkeästi puoluepoliittinen. Tässä yhteydessä professori Syri muistutti, että EU todellakin on edelläkävijä CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisessä; tällä hetkellä vain päästöoikeuden



*Energiatalouden professori Sanna Syri piti tilaisuudessa alustuksen ydinvoiman roolista osana energijärjestelmää. Hän osallistui yhdessä toisen alustajan, ydinvoimatekniikan professori Filip Tuomiston, kanssa myös paneeliin asiantuntijajäsenenä.*

hinta on niin alhainen, ettei päästökauppajärjestelmä toimi. Lappalainen myönsikin, että EU on toki tehnyt oikeansuuntaisia asioita, mutta olisi voinut tehdä vielä enemmän. Lopuksi professori Tuomisto kannusti ehdokkaita vaatimaan asiantuntijoilta ymmärrettäviä perusteluja päätöksen tueksi. Tätä voimme kaikki kannattaa.

Tilaisuuden tavoitteista saavutettiin tärkein; jäsenistöä voitiin informoida ehdokkai-

den ydinvoimakannoista. Valitettavasti kuitenkin paikalle kutsutut median edustajat eivät olleet kiinnostuneita keskustelutilaisuudestamme. Näin ollen tavoite seuran julkisen profiilin kohotuksesta jäi toteutumatta. Ydinvoima ei myöskään esiintynyt laajemmassa debaattissa vaalien alla, vaan ehdokkaat keskittyivät leikkauslistoihin ja veromuutosehdotuksiin.



*Eduskuntavaaliehdokaspanelistit Lauri Heikkilä (ps), Joonas Räsänen (sdp), Kai Mykkänen (kok), Jarno Lappalainen (vihr) ja Vesa Helkkula (kesk) esittivät kantansa OL4-hankkeen saamiseen periaatepäätökseen. Hankkeen puolesta äänestäneet Räsänen ja Mykkänen ja olivat joukon läpimenijät.*

# SAFIR2014-päätösseminaari

## Turvallisuustutkimuksen jatkumoa ja muutoksia

Ydinturvallisuustutkimuksen seminaari Hanasaassa kokosi maaliskuussa taas varsin hyvän osanoton kahdeksi päiväksi kuuntelemaan ja keskustelemaan. Ohjelmassa kuultiin läpileikkaus päättyneen ohjelman tuloksista ja keskusteltiin hyödyntämisestä. Seminaarissa kansainvälinen osallistuminen oli kiitettävää ja kansainvälisen yhteistyön merkitys nousi monessa esityksessä konkreettisesti esiin.

The final seminar of the Finnish SAFIR2014 nuclear safety research programme was held in Hanasaari Conference Centre in Helsinki in 19–20th March 2015. The seminar covered the four year safety research programme in a compact two days event, presentations and panels with many questions and contributions from the audience. The event was not only a national one, also many participants came from abroad. The special invited speaker was Mr. Steven West from NRC USA.

**Teksti:** Liisa Heikinheimo

**S**AFIR2014 Ydinturvallisuustutkimusohjelman päätösseminaari pidettiin Hanasaaren konferenssikeskuksessa 19.–20.3.2015. Seminaari tiivisti nelivuotisen tutkimusohjelman kahteen täyspitkään päivään esitelmää, alustuksia, paneelikeskusteluja ja vapaita kysymyksiä. Tilaisuuteen osal-

listui yhteensä noin 190 alan asiantuntijaa ja vaikuttajaa. Ilahtuttava osallistujaryhmä olivat ulkomaalaiset asiantuntijat. Heitä oli aiempaa enemmän ja useista eri organisaatioista: muun muassa seitsemän eri ulkomaista viranomaisorganisaatiota, OECD Halden ja OKG olivat edustettuina. Kutsuttuna puhujana oli NRC:n edustaja, Mr Steven West, USAsta. Seminaarissa jaettiin myös ohjelman mittava loppuraportti, joka kuvaa tutkimushankkeiden tuloksia yhteensä 722 sivulla [VTT Technology 213].

peräisin olevilla elinikänsä loppuun tulleilla nykyisillä tutkimusvalmiuksilla. Tutkimusohjelman ulkopuolelle on rajattu laitosyksikkökohtaiset aiheet, joista luvanhaltijat vastaavat. [SAFIR2014-ohjelman runkosuunnitelma: <http://safir2014.vtt.fi>].

Ohjelmakausi 2011–2014 oli mielenkiintoinen ja varsin haastava tutkimuksen suunnittamisen kannalta. Ohjelmaa suunniteltaessa kesällä 2010 Suomeen saatiin kaksi uutta ydinvoimalaitoksen periaatepäätöstä: FH1 ja OL4. Tämän perusteella yhdeksi ohjelman tavoitteeksi oli asetettu mittava osaamisen kasvattaminen. Keväällä 2011 ohjelmakausi alkoi Fukushima onnettomuudella, jota seurasi SAFIR2010-ohjelman päätösseminaarin toisen päivän aamuna. Tässä vaiheessa oli ohjelmatekstit tietysti jo tehty ja ensimmäisen vuoden hankkeetkin käynnistetty. Välitön tehtävä ohjelman johtoryhmälle oli siis päivittää ohjelmaa toisen vuoden hakua varten erillisellä Fukushima-liitteellä. Painotettaviksi tutkimusaiheiksi liitteeseen tulivat:

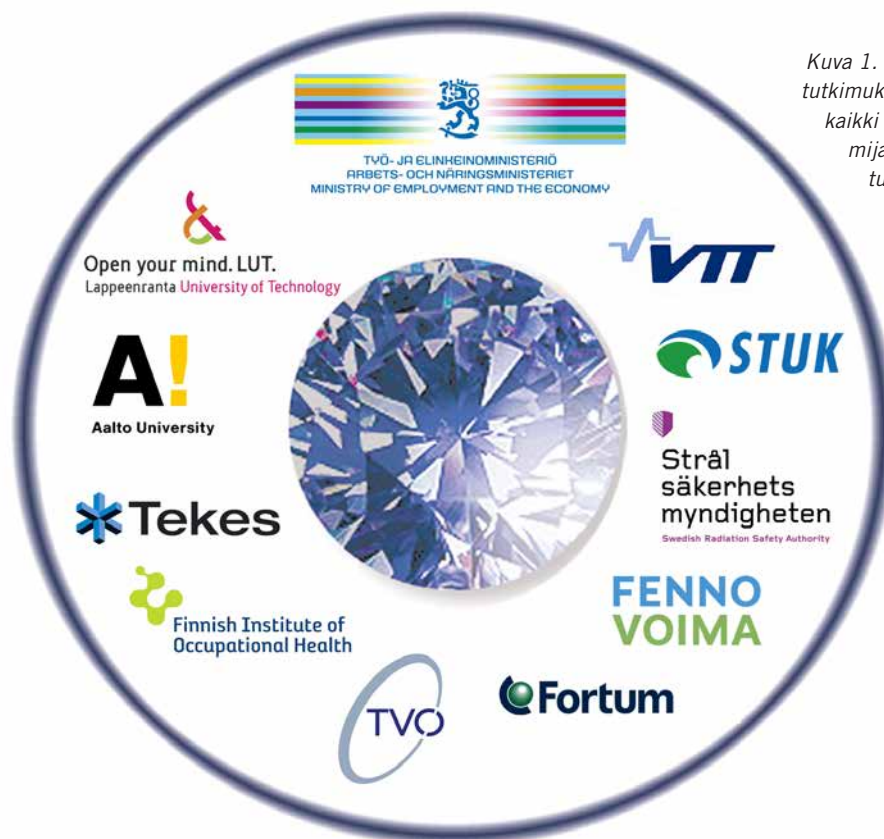
- **Alkutapahtumat: ulkoiset uhat ja moninkertaiset tapahtumat:** Ulkoisten luonnonilmiöiden esiintymisen ja seurausten



**TkT Liisa Heikinheimo**  
T&K päällikkö  
TVO  
[liisa.heikinheimo@tvo.fi](mailto:liisa.heikinheimo@tvo.fi)

### Ohjelman sisältö ja tavoitteet

SAFIR2014-ohjelman lähtökohta on ydinenergialain mukaisen turvallisuustutkimuksen suorittaminen VYR-rahoituksen tuella. Ohjelman mukaan SAFIR2014-tutkimusohjelmassa keskitytään aiheisiin, jotka lisäävät kansallista ydinteknistä asiantuntemusta ja valmiuksia. Tutkimusaiheet on jaettu kahdeksaan eri teknistieteelliseen aihepiiriin. Uutena aiheena ohjelmaan tuotiin lisäksi tutkimusinfrastruktuurin kehittäminen ja uudistaminen, mitä perusteltiin toisaalta kasvavilla tarpeilla ja toisaalta osin jo 70-luvulta



Kuva 1. SAFIR2014-ydinturvallisuustutkimuksen ohjelmassa ovat mukana kaikki keskeiset alan kotimaiset toimijat ja lisäksi ruotsalainen ydinturvallisuusviranomaisen SSM.

arviointi, monipuolinen luonnonilmäiden esiintymistodennäköisyyksiä ja voimakkuuksia koskeva tutkimus sekä ydinvoimalaitosten suunnitteluperusteiden riittävyyden arviointi.

- **Ydinvoimalaitoksen suunnittelu:** Ydinlaitosten suunnitteluperusteiden riittävyys ja kattavuus ja uuden tiedon tarve erityisesti turvallisuuteen vaikuttavista tekijöistä, kun alkutapahtumat ylittävät suunnitteluperusteet.
- **Onnettomuuden vaikutusten lieventäminen:** Reaktorionnettomuuksien analysointi tilanteissa, joissa reaktoripiirissä on paljon booria tai muita kiteytyviä aineita. Lisäksi pitkäaikainen onnettomuus tuo esille uudentyyppisiä haasteita jälkilämmön poistamiseksi. Onnettomuustilanteessa mahdollinen vedyn syntyminen ja kulkeutuminen tulee tuntea entistä paremmin vetyräjähdysliittävien vastatoimien suunnittelmiseksi.
- **Polttoaineen elinkaari:** Ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimuksessa on tavoit-

teena polttoainekierron kokonaistarkastelu osana ydinvoimalaitosten turvallisuutta. Käytetyn polttoaineen pitkäaikaisvarastointia ja loppusijoitusta on tutkittu kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelman (KYT2014-ohjelma) puitteissa.

Ohjelman käynnistyessä oletettiin, että kaksi uutta periaatepäätöstä etenisivät rakentamislupahakemuksiin ohjelmakaudella ainakin merkittävässä määrin. Näin ei kuitenkaan ohjelmakaudella tapahtunut ja laitosvaihtoehtoihinkin tuli muutoksia. Käyvien laitosten käyttöä jatkaminen 10–20 vuotta neljänkymmenen vuoden käytön jälkeen on myös tutkimukselle monitahoinen haaste, joka osattiin kirjoittaa jo työsuunnitelmaan. Suunnitellun eliniän ylittävän käytettävyyden perusteluun tarvitaan monia analyysejä ja uutta tietoa. Myös STUK:in YVL-ohjeudistus, jolla on vaikutuksia tutkimustarpeisiin, oli ohjelman alussa valmistelussa. Seminaarin aikana tiesimme, että monet lähtöoletukset olivat muuttuneet ja vaikuttaneet myös ohjelman painopisteiden hallintaan. Myös ohjelman johtamisessa tapahtui muutos, kun Jari Hämäläinen astui tehtävään Kaisa Simolan siirtyttyä JRC Petteniin VTT:ltä.

### Seminaarissa kuultua

Seminaarin avauspuheenvuorot painottivat tutkimusohjelman merkitystä kansallisesti ja kansainvälisesti. Herkko Plit, TEM, alleviivasi työn aikana tehdyn kansallisen YES-strategian merkitystä ja näkymistä tutkimuksessa erityisesti nyt alkaneella SAFIR2018-ohjelmakaudella [TEM:n julkaisuja, Energia ja ilmasto, 16/2014]. Myös kansainvälisen yhteistyön tärkeys tuli selvästi esille: vaikka ohjelma on varsin hyvin onnistunut kansallisen kompetenssin rakentamisessa, on laajentamiselle ja tiedon kulun parantamiselle tarvetta. Ohjelman johtoryhmän puheenjohtaja Marja-Leena Järvinen, STUK, kertoi IAEA:n nostaneen esiin Suomen osalta poikkeuksellisesti kolme hyvää käytäntöä (good practices), joista yksi on SAFIR-tutkimusohjelma.

Kutsuttuna puhujana oli Steven West NRC:stä. NRC on USA:n vastuullinen ydinturvallisuustoimija, jolla on 230 henkilöä asiantuntijaorganisaatiossaan. NRC:n tutkimusbudjetti on n. 50 M\$ vuodessa ja lisäksi eri tutkimuslaboratorioita tuetaan n. 40 M\$ rahoituksella vuosittain. NRC:n tutkimus on jaoteltu kolmeen ryhmään:

## SAFIR2014-OHJELMAN TUTKIMUSALUEET

(42 projektia)

ORGANISAATIO JA IHMINEN	①	MAN, ORGANISATION AND SOCIETY
AUTOMAATIO JA VALVOMO	②	AUTOMATION AND CONTROL ROOM
POLTTOAINE JA REAKTORIFYSIIKKA	③	FUEL RESEARCH AND REACTOR ANALYSIS
TERMOHYDRAULIIKKA	④	THERMAL HYDRAULICS
VAKAVAT ONNETTOMUUKSET	⑤	SEVERE ACCIDENTS
REAKTORIPIIRIN RAKENTEELLINEN TURVALLISUUS	⑥	STRUCTURAL SAFETY OF REACTOR CIRCUITS
RAKENNUSTEKNINEN TURVALLISUUS	⑦	CONSTRUCTION SAFETY
TODENNÄKÖISYYSPOHJAINEN RISKIANALYYSI	⑧	PROBABILISTIC RISK ANALYSIS
TUTKIMUSINFRASTRUKTUURIN KEHITYS	⑨	DEVELOPMENT OF RESEARCH INFRASTRUCTURE

- Varmistava tutkimus (1–3 vuoden aikajänne)
- Tulevaisuuteen suuntaava tutkimus (3–5 vuoden aikajänne)
- Pitkän tähtäimen tutkimus (> 5 vuoden aikajänne)

Kansainvälisen yhteistyön aiheina West nimesi Fukushiman vaikutukset laitosten vaarallisuuteen ja tutkimukseen, Halden-projektin, zirkoniumin palamisen LOCA:n yhteydessä ja paloturvallisuuden. Tulevista haasteista hän mainitsi edelleen Fukushiman vaikutukset, uusien teknologioiden osaamisen ja lisensoitavuuden varmistamisen (erityisesti SMR), järjestelmätason tutkimuksen sisältäen digitaalisen I&C -tekniikan, materiaalien vanhentamisen ja vikaantumisen laitosten eliniän aikana sekä LTO (Long Term Operation) -hallinnan.

Ohjelman loppuraportti on kattava kooste kaikista toteutetuista tutkimusprojekteista. Seminaarissa pidettiin esitelmät kunkin yhdeksän tukiryhmän osalta muutamasta valikoidusta tutkimusaiheesta. Lopuksi keskusteltiin tukiryhmien puheenjohtajien alustusten pohjalta tuloksista ja niiden hyödynnettävyydestä. Seminaarin kuuntelijana pidin tästä

käsittelytavasta, koska alustukset aktivoivat kuulijat keskusteluihin ja toivat vaihtelua fokuksituihin esityksiin. Osa tutkimusaiheista ja tuloksista esiteltiin postereina kahvitaukojen aikana, mikä tuntui myös onnistuneen hyvin. Alla muistiinpanojeni mukaisia ”maistiaisista” tutkimusprojektien esityksistä:

**Ihminen, organisaatio ja yhteiskunta;** Pia Odewald, VTT, nosti esityksessään esiin ydinenergia-alan vahvan orientaation virheistä ja ongelmista oppimiseen. Hänen mielestään oppimista voisi tapahtua myös onnistumisista. Toinen tärkeä kysymys oli verkostojen turvallisuusmerkitys, jossa meillä olisi opittavaa perinteisiltä teollisuuden aloilta. Verkostojen tehokkuus ei välttämättä vähennä kykyä turvallisuuden parantamisessa. Myös Merja Ylönen, Jyväskylän yliopisto, esitti turvallisuuskriittisen alan toiminnan näkökulmia. Elämme toisaalta vahvassa ”command&control” -ympäristössä, mutta opiaksemme ja toimiaksemme arkipäivässä on oltava ”self regulation” -kykyä. Kulttuurillisten ja toimintaympäristöä koskevien kysymysten vaikutus turvallisuuskäyttäytymiseen on uusi tutkimusaihe ohjelmassa.

**Automaatio ja valvomo** -tutkimusalueessa on harpattu pitkiä askelia ohjelmakauden aikana. Yhtenä kannustimena ovat olleet OL3:n automaatiokysymysten vaatimat työkalut ja osaaminen. Toisaalta Loviisan automaatio-uudistuksen kautta on saatu käytännön tietoa uudistukseen automaatioon liittyvistä kysymyksistä. Aihealue on herkkä, sillä tähän liittyy sekä toimittajien että omistajien luottamuksellisia näkökohtia. Tutkimuksessa on kuitenkin onnistuttu löytämään sellaisia aiheita, joista voidaan puhua yhteisesti ja joita voidaan julkaista.

**Polttoainetutkimus ja reaktorianalyysi** -aihepiiri on tutkimuksellisten saavutusten osalta ohjelman huippua. KÄÄRME-projektissa on syntynyt kolme väitöskirjaa, 17 kansainvälistä vertaisarvioitua julkaisua ja 15 arvioitua konferenssiesitelmää sekä runsaasti raporttitason tuloksia. Fukushiman seurauksena tähän aihepiiriin tuli uusia tutkimusnäkökulmia kuten onnettomuusietoinen polttoaine eli ”accident tolerant fuel”. SAFIR-ohjelmassa tämä aihe ei kuitenkaan vielä ole konkretisoitunut, sillä kansainvälinen tutkimus on vielä materiaalien

*Kuva 2. SAFIR2014-ohjelman yhdeksän aihepiiriä kattavat koko ydinvoimalaitoksen turvallisuuden sekä lisäksi tutkimusinfrastruktuurin kehityksen, vuoden 2011 jälkeen ohjelmaan lisättiin erillinen Fukushima-liite.*

valmistuksen ja ominaisuuksien määrittelyn tasolla. VTT:n tutkimusryhmällä olisi kuitenkin annettavaa tähän aiheeseen erityisesti mallinnusosaamisen muodossa jo tässä vaiheessa.

**Termohydrauliikan** tutkimuksessa kansainvälisillä suurenmittakaavan kokeilla ja OECD/NEA-projektien yhteistyöllä on keskeinen rooli. LUT:in tutkijaryhmä tuottaa ohjelmassa tärkeitä koetuloksia, joita käytetään yhtäläillä kotimaisissa kuin kansainvälisissäkin tutkimuksissa lähtötietoina. APROS-ohjelmiston käytöstä esitettiin kysymyksiä ja todettiin, että APROS-ohjelmistolla on jo vankka jalansija alalla. Uutta kehitetään ja esimerkiksi APROS+TRACE-ohjelmien käyttöä on hyödynnetty OECDPKL-projektin koetulosten laskennassa.

**Vakavien onnettomuuksien** tutkimuksessa keskeinen osa on ollut kokeellisella toiminnalla, jossa on analysoitu geometrian vaikutusta sydänromukeon jäädytettävyyteen tulvitetussa alakuivatilassa. Mittaustiedolla pystytään paremmin arvioimaan suojarakennuksen eheyttä uhkaavia tekijöitä ja näin onnettomuuden seurauksia ja päästöjä. Saatuja tuloksia on sovellettu ja mallien validiutta on varmistettu Olkiluodon BWR-laitosten mallinnuksessa. Vakavien onnettomuuksien alueeseen on tullut mukaan myös termokemiallista mallinnusta.

**Reaktoripiirin materiaalit** ovat myös laaja ja perinteinen osa ohjelmaa. Käyttöympäristön ja -kuormien vaikutukset materiaalien ikääntymiseen ja suorituskykyyn edellyttävät kokeellista tutkimusta. Alueella on myös paljon

kansainvälistä yhteistyötä johtuen tutkimuksen vaatimista laboratoriovalmiuksista ja siitä että kokeelliset tutkimusohjelmat ovat hyvin laajoja yhden toimijan kannettaviksi. Eräs keskeinen tulos ohjelmassa koski nikkeliseosten murtumista vedyn vaikutuksesta jo matalissa lämpötiloissa. Myös mahdollisuuksia estää murtumista tutkittiin mm. käyttölämpötilaa korkeamman lämpötilan esikäsitteilyllä, mikä näyttäisi suojaavan metallin pintaa.


**Rakenteiden eheyden** ja kuormitusten kestävyuden tutkimus on keskittynyt oleellisesti laajaan kansainvälisenä yhteistyönä toteutettuun lentokonetermämäysprojektiin, IMPACT, ja sen tulosten analysointiin. IMPACT-kokeissa on jatkettu lentokonetermämäysten simulointia paksujen betoniseinämien kestävyuden arvioimiseksi, mikä aloitettiin jo SAFIR2010-ohjelmassa. Kokeita on myös laajennettu siten, että yhdistetyt isku- ja lävistyskuormitukset sekä rakenteiden värähtelyn mittaus ja kuormitusten vaimeneminen rakenteissa ovat kuuluneet koeohjelmaan.

**Luonnonilmiöiden tutkimus** tuli erityisen tärkeäksi vuoden 2011 jälkeen. Ohjelmassa on tutkittu sekä seismisten värähtelyjen vaikutuksia että äärimmäisten sääolosuhteiden vaikutuksia voimalaitoksiin ja niiden suunnitteluperusteisiin sekä voimalaitosten käyttöön. Todennäköisyysperustainen riskien arviointi (PRA) on myös vakiintunut osa ohjelmaa johon kuuluu PRA-menettelmien ja FinPSA-ohjelmiston kehitystä ja soveltamista. FinPSA:ssa tason 2 PSA -kehitys on prototyypivaiheessa.

Viimeisenä esiteltiin **kokeellisen infrastruktuurin** kehitystä, josta on ollut kaksi hanketta käynnissä: VTT:n tulevan Ydinturvallisuustalon suunnittelu ja LUT:in termohydraulisen koelaitteiston uudistaminen ja täydentäminen kaksifaasivirtauksen mittausrakenteilla.

### Tutkimuksesta hyödyntämiseen

Paneelikeskustelu päätti seminaarin ensimmäisen päivän. Panelisteiksi oli kutsuttu tutkimusta hyödyntävien toimijoiden edustajat. Puheenjohtaja antoi kullekin lyhyen alustusajan ja esitti sitten kysymyksiä liittyen ohjelman onnistumiseen hyödyntäjän näkökulmasta ja toisaalta toiveisiin tulevista suuntauksista.

Paneelikeskustelussa kehitystarpeita nähtiin erityisesti kansainvälisen yhteistyön hyödyntämisessä entistä tehokkaammin. Enää ei puhuta siitä, että päästään mukaan yhteistyöhön vaan siitä mitä yhteistyöltä odotetaan. Kansallinen turvallisuustutkimusohjelma on merkittävä pääoma kansainvälisillä tutkimusmarkkinoilla. Sillä on mahdollisuuksia kotiuttaa tutkimustietoa, jota ohjelma ei kata tai johon omat resurssimme eivät yksin riitä. Yhteistyössä tekemisellä saavutetaan myös laadullisia hyötyjä, voidaan arvioida omaa tasoa ja kohottaa sitä tarvittaessa. Toinen toivomus tuntui olevan ohjelman uudistumiskykyä koskeva. Ohjelmaan ei ole helppo saada uusia tutkimusaiheita tai näkökulmia mukaan. Tähän tulisi kehittää mekanismi, joka turvaisi ohjelman kyvyn vastata myös tulevaisuuden haasteisiin. 

### Viitteet

SAFIR2014 – The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 2011 – 2014, Final Report. VTT Technology 213. Ydinenergia-alan tutkimusstrategia (YES-strategia), TEM:n julkaisuja, Energia ja ilmasto, 16/2014.

# ATS uudistuu

ATS:n viideskymmenes juhlavuosi käynnistyy tämän lehden ilmestymisen aikoihin, sillä seura perustettiin Tekniska Föreningen i Finlandin kerhohuoneistossa Yrjönkadulla Helsingissä tiistaina 24.5.1966.

**Teksti:** ATS:n johtokunta: Kai Salminen (pj.), Filip Tuomisto (vpj.), Henri Loukusa (siht.), Lauri Pyy (rah.hoit.), Lasse Koskinen, Ilkka Männistö ja Tuomas Rantala

**A**TS ON AIKOJEN SAATOSSA rutinoitunut sääntöjen mukaisen tarkoituksensa toteuttamisessa ja jäsenistönssä palvelemisessa. Maailma ja ydinenergia-ala ympärillämme on kuitenkin erilainen kuin se, missä vuoden 1966 Atomivaltuuskunnan osallistajat ammatillisen seuran perustamisen tarpeelliseksi totesivat. Myös jäsenistö ja sen odotukset muuttuvat.

## Yhdistys jäseniään varten

Seuran uusi johtokunta on käynnistänyt strategiatyön, jonka tarkoituksena on linjata seuran toimintaa pitkälle tulevaan puolivuosisataan. Tarkoituksena on katsoa seuran tavoitteita, toi-

mintaa ja tekemisen tapoja perinteitä kunnioittaen mutta uutta ja muutoksia pelkäämättä. Uudistuksissa opittavaa voisi olla esimerkiksi sisarseuraltamme American Nuclear Societyltä tai suomalaiselta lääketieteen seura Duodecimiltä.

Uudistusten ajavina voimina nähdään alan ammattilaisten tarpeiden ja odotusten kehittyminen, ydintekniikan alan sisäiset haasteet sekä yhteiskunnassa tapahtuneet perustavanlaatuiset muutokset. ATS:n identiteetti on olta- va jäsenistön näköinen uudistustenkin jälkeen. Sen on myös kyettävä houkuttelemaan uusia jäseniä, jotta seura kattaisi alan ammattilaiset mahdollisimman hyvin.

Seuran sääntöjen mukaisista tarkoituksista alan tuntemuksen ja kehityksen edistäminen Suomessa ja alan ammattilaisten välisenä yhdyssiteenä toimiminen ovat tänään yhtä relevantteja kuin vuosikymmeniä sitten. Sen sijaan seura on menettänyt merkitystään tietojen ja kokemusten vaihtamisessa kansainvälisesti. Tämän suhteen saattaa olla syytä linjata seuran tarkoitukseksi yksinkertaisesti yhteistyö muiden maiden vastaavien teknillistieteellisten seurojen kanssa.

## Kokonaisvaltainen muutos

Talvella 2015 toteutetun jäsenkyselyn 258 vastausta antoivat seuran toiminnalle kouluarvosanan 8+. Tuloksista ilmenee, että mahdollisuus osallistua syysseminaariin ja ATS Ydintekniikka -lehti ovat toistaiseksi valtaosalle riittäneet perusteeksi maksaa jäsenmaksu.

Hyvän arvosanan taustalla on kuitenkin ha- vaittavissa toiveita siitä, että seuran toiminnalla pitäisi olla enemmän merkitystä jäsenistölle ja sen edustaman alan tulevaisuudelle. Noin

40 % vastaajista pitää tarpeellisena uudistaa seuran toimintaa. Tätä lukemaa ei voi sivuuttaa olankohautuksella.

Maaliskuussa aloittanut johtokunta pohtii seuran uudistumista kaikilla osa-alueilla. Aluksi toiminnan perustarkoitusta kirkastetaan ja asetetaan konkreettisia tavoitteita uudistumiselle. Näiden perusteella katsotaan, mikä nykyisestä toiminnasta puoltaa paikkaansa ja mitä uutta toimintaa seura voisi järjestää.

Uudistuvan ATS:n toiminta pyritään organisoimaan niin, että jäsenistössä piilevät voimavarat ja halu osallistua yhteisen toiminnan järjestämiseen saadaan hyödynnettyä maksimaalisesti. Seuran toimintaan luodaan jatkuvuuden ja laadukkuuden turvaavat rakenteet. Toiminnan rahoitus pohjan laajentamiseen kiinnitetään myös huomiota.

## Sateenvarjo monipuoliselle toiminnalle

ATS:n ”ry-sateenvarjon” alla on tarkoitus olla jatkossakin erillisiä toimintaryhmiä, kuten nuorten ATS Young Generation, naisten Energiakanava ja eläkeläisten ATS-Seniorit. Toimintaryhmät järjestävät omaehtoisesti seuran jäsenistölle tai sen osajoukolle suunnattua toimintaa, saavat osan tarvitsemasta rahoituksesta seuralta ja edustavat seuraa kansainvälisissä yhteistyöorganisaatioissa.

Toimintaryhmäjärjestely on osoittautunut erittäin toimivaksi, koska siinä toiminnan järjestämisvastuu on sillä joukolla jäseniä, joka tuntee parhaiten oman ryhmänsä tarpeet. YG-toiminnan menestys on osoittanut, että vetäjien into ja sopiva vaihtuvuus on tärkeää aktiivisuuden ylläpitämiseksi. Seniorien organisointuminen on melko uutta, mutta on jo lyhyessä ajassa osoittanut kasvavan tarpeellisuutensa.

## TAVOITTEET VUOTEEN 2017

1. Henkilöjäsenmäärän kaksinkertaistaminen
2. Kannatusjäsenmäärän kolminkertaistaminen
3. Tapahtumaosallistumisten määrän nelinkertaistaminen vuositasolla
4. ATS:n verkkosivujen vierailujen määrän (visits) viisinkertaistaminen ja sivuhakumäärän (pages) kymmenkertaistaminen vuositasolla
5. Kiihittävä jäsenyytyväisyyden kouluarvosana
6. Seuran varainhankintapohjan laajentaminen

Johtokunnan vastuulla on toimintaryhmien jatkuvuudesta huolehtiminen. Tässä huolta on aiheuttanut Energiakanavan toimimattomuus viime vuosina. Energiakanavan tulevaisuus on jäsentensä käsissä. Mikäli toiminta aktivoituu, sen asemaa ATS-toiminnassa selkeytetään.

### Laadukas lehti säilytetään

ATS Ydintekniikan roolia tärkeimpänä ilmentymänä ammattiyhteisön olemassaolosta vahvistetaan. Lehti jatkaa ilmestymistään paperilla neljästi vuodessa uuden vastaavan päätoimittajan Anna Niemisen vetämänä. Uuden päätoimittajan ajatuksia lehden uudistamisesta esitellään toisaalla tässä numerossa.

Johtokunta on vahvasti sitoutunut ATS Ydintekniikan uudistamiseen ja teknistieteellisen sisällön laadun parantamiseen. Lehden kehittämisen ohessa sähköisiä julkaisukanavia hyödynnetään jatkossa entistä monipuolisemmin.

Uutiskirjeen lähettämistä sähköpostitse jäsenistölle jatketaan. Seuran nettisivuilla otetaan lähiaikoina käyttöön uusi julkaisualusta. Samalla sivuston visuaalista ilmettä aiotaan päivittää, sisältöä monipuolistaa ja ajantasaisuutta parantaa. Tavoitteena on, että nettisivut ovat seuran näytävä käyntikortti ja relevantin tiedon lähde.

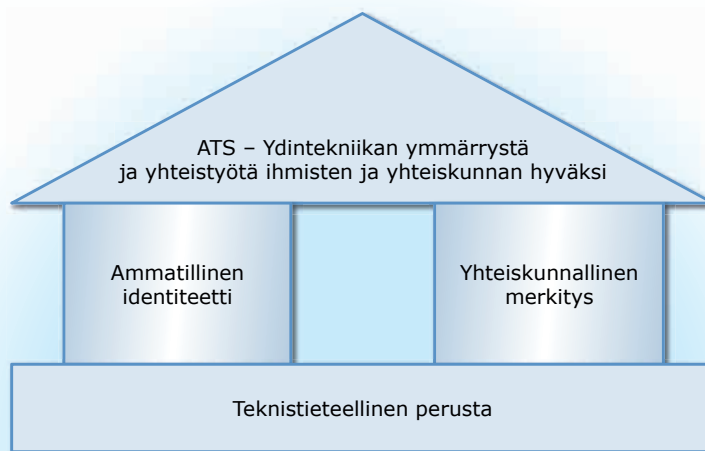
Johtokunta tarkastelee myös seuran edellytyksiä luoda ja ylläpitää uudenlaisia palveluita. Näitä ovat esimerkiksi jäsenistöä palvelevan kustannustoiminnan aloittaminen, suomalaisen ydintekniikan alan sähköisen uutispalvelun perustaminen sekä ”Kysy asiantuntijalta”-työnimellä kulkevan verkkopalvelun toteutus, jossa ATS:n jäsenistön huippuasiantuntijat vastaisivat kansalaisten ydintekniikkaa koskeviin kysymyksiin.

### Enemmän ja laadukkaampia tapahtumia

Seuran tapahtumatarjonnan perusmuotona säilytetään jäsentilaisuudet, joiden määrää aiotaan lisätä. Tilaisuuksien järjestämiseksi pääkaupunkiseudun ulkopuolella, lähinnä Loviisassa, Eurajoella sekä myöhemmin myös Pyhäjoella, pyritään aktivoimaan seuran paikallistoimintaa.

Syysseminaarin korvaamista esimerkiksi joka toinen vuosi laajemmalla ATS-konferenssilla selvitetään. Ensimmäinen ”Suomalaisen ydintekniikan päivät” suunnitellaan järjestettäväksi vuonna 2016, kun seura täyttää 50 vuotta.

Ekskursioiden suhteen jatko on auki. Opinnotmatkoilla ei ole enää seuran tarkoituksen



### Vahva seura, väkevä visio

**ATS:n toiminta on tarkoitus rakentaa jatkossa kolmen elementin varaan:**

- Teknistieteellinen perusta: seuran kaikki toiminta on itsenäistä, riippumatonta sekä tosiasioita ja tieteellistä ajattelutapaa kunnioittavaa.
- Ammatillinen identiteetti: seuran jäsenyys on haluttu ja arvostettu ominaisuus ja toimii määreenä ydintekniikan alan ammattilaiselle Suomessa.
- Yhteiskunnallinen merkitys: seuralla on kansallisesti tunnustettu ja arvostettu asema ydintekniikan alan ammattiyhteisön kannanesittäjänä.

Näiden varassa oleva seuran toiminnan perustarkoitus kiteytyy ajatukseen:

**”ATS – Ydintekniikan ymmärrystä ja yhteistyötä ihmisten ja yhteiskunnan hyväksi”**

kannalta samanlaista tehtävää kuin aikaisemmin, eikä johtokunta aio pitää kiinni matkojen järjestämisestä pelkästään perinteiden takia. Vuoden 2015 ekskursiolla Iso-Britanniaan onkin asetettu tavoitteeksi sen osoittaminen, että seuran kannattaa jatkossakin käyttää voimavarojaan opintomatkojen organisoimiseen.

Osana seuran yhteiskunnallisen merkityksen vahvistamista seuran järjestämien tilaisuuksien avaamista ei-jäsenille pohditaan tapauskohtaisesti. Esimerkkinä tällaisesta harkinnasta oli seuran maaliskuussa 2015 järjestämä vaalipaneelikeskustelu, johon kutsu toimitettiin lehdistölle ja rajoitetusti ATS:n kannatusjäsenen organisaatioissa. Avoimissa tilaisuuksissa on pidettävä huolta siitä, että jäsenmaksuista katettavat kulut kohdistuvat oikein ja että jäsenmaksun maksamisen edut ovat kiistattomat.

### Jäsenet ydinvoimamyönteisiä

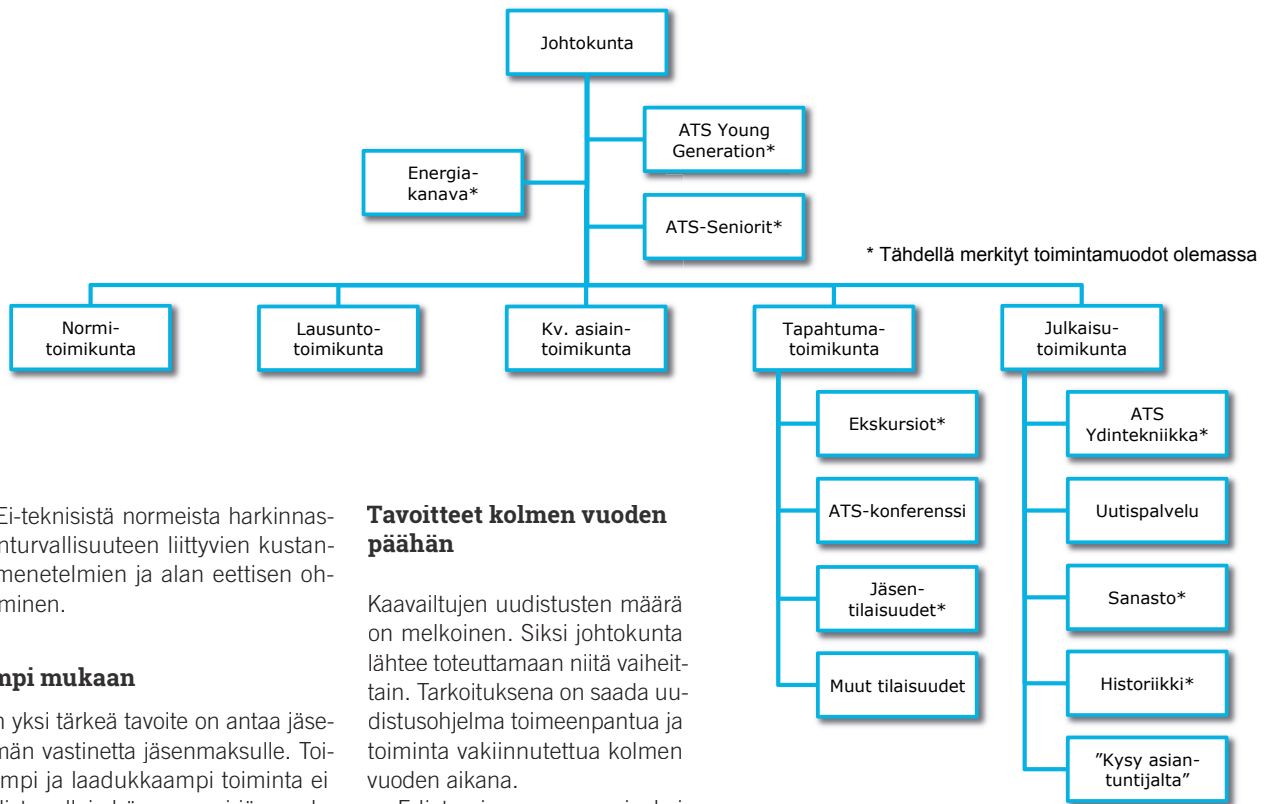
Kestoaihe ATS:n sisällä on ollut se, voiko seura antaa lausuntoja ydinvoimasta ilman että tieteellisen seuran status kärsii tai seuran luottamus- tai toimihenkilöinä palvelevat vi-

ranomaisen palveluksessa olevat henkilöt kokevat eturistiriitaa. Seuran ulkopuolelta asiaan ei ole kiinnitetty huomiota.

Tärkeää on, että seuralla on lausuntoasiassa selkeä linja, jonka perusteella kukin jäsen voi tehdä omat johtopäätöksensä seuran jäsenyydestä. Lausuntojen antamisessa toimitaan jatkossa jäsenistön asiantuntemuksen ja seuran teknistieteellisen perustan mukaisesti. Tämä tarkoittaa, että jäsenistön myönteinen suhtautuminen ydintekniikan rauhanomaiseen ja turvalliseen hyödyntämiseen tuodaan tarvittaessa esille.

Täysin uutena toimintona johtokunta on selvittämässä mahdollisuuksia käynnistää ATS:n organisoimana normien laatimista. Normien tarkoituksena on edistää alan kehitystä Suomessa luomalla soveltamiskelpoisia toimintatapoja ja ohjeita, joihin kiteytyy alan johtava osaaminen ja konsensus Suomessa.

ATS:n on tarpeetonta alkaa normeerata asioita, joihin on olemassa soveltuvat kansainväliset standardit. On kuitenkin alueita, jossa kansainvälistä normia ei ole tai se ei sovellu sellaisenaan meille. Pilottina on harkittu maanjäristys- tai lentokonetörmäysnormin



laatimista. Ei-teknisistä normeista harkinnassa ovat ydinturvallisuuteen liittyvien kustannus-hyöty-menetelmien ja alan eettisen ohjeiston laatiminen.

### Yhä useampi mukaan

Uudistusten yksi tärkeä tavoite on antaa jäsenille enemmän vastinetta jäsenmaksulle. Toisaalta laajempi ja laadukkaampi toiminta ei ole mahdollista, ellei yhä useampi jäsen ole valmis osallistumaan sen järjestämiseen. Tätä varten seuran organisoitumista muutetaan.

Uudessa organisoitumismallissa sääntömääräiset toimintaryhmät (ATS YG, Energia-kanava ja ATS-Seniorit) säilyvät ennallaan. Mallissa perustetaan toimikunnat normien ja lausuntojen laatimista, kansainvälisiä asioita, tapahtumien järjestämistä ja julkaisutoimintaa varten. Toimikunnat ovat pysyviä ja niiden puheenjohtajan ja jäsenet asettaa johtokunta.

Tapahtumajärjestelyjä ja julkaisutoimintaa varten toimikuntien alla on useita työryhmiä. Työryhmistä osa on luonteeltaan pysyviä sääntömääräisinä, kuten ATS Ydintekniikan toimikunta, osa taas tilapäistä tarkoitusta varten perustettavia.

### Tavoitteet kolmen vuoden päähän

Kaavailtujen uudistusten määrä on melkoinen. Siksi johtokunta lähtee toteuttamaan niitä vaiheittain. Tarkoituksena on saada uudistusohjelma toimeenpantua ja toiminta vakiinnutettua kolmen vuoden aikana.

Edistymisen seuraamiseksi ja menestyksellisyuden arvioimiseksi johtokunta on asettanut itselleen selkeät tavoitteet. Tavoitteet eivät perustu täsmällisiin suunnitelmiin toiminnan kehittämistä, vaan niiden tarkoituksena on kannustaa parantamaan seuran toiminnan määrää ja laatua kautta linjan. Päättävöitteet on tarkoitus pilkkoa konkreettiseksi asioiksi kunkin järjestettävän tapahtuman, tilaisuuden ja toiminnan kohdalla.

Uudistukset edellyttänevät sääntömuutoksia, jolloin jäsenistön kolmen neljäsosan kanta ratkaisee. Ennen tätä johtokunta toivoo aktiivista keskustelua uudistuksista.

Mielipiteitä ja ideoita voi toimittaa jatkosakin suoraan johtokunnan puheenjohtajal-

le (puheenjohtaja@ats-fns.fi) tai sihteerille (sihteeri@ats-fns.fi). Myös jäsentilaisuuksien yhteydessä varataan mahdollisuus käydä keskustelua asiasta. Jäsenistölle tiedotetaan tarkemmista suunnitelmista ja etenemisestä uutiskirjeissä, ATS Ydintekniikassa ja nettisivuilla.

ATS ei tule olemaan entisensä uudistusohjelman jälkeen. Seurasta tulee monipuolisempi, laadukkaampi, nykyaikaisempi – elinvoimainen yhdistys, jonka jäsenyydestä me kaikki voimme olla ylpeitä. Kaikki tämä tarvitsee tekijänsä. Ole siis aktiivinen ja tule mukaan luomaan uuden ajan ATS:ää!

### Puheenjohtajan jälkikirjoitus:

Tähän artikkeliin konkretisoiu johtokunnan kevään strategiatyöskentely, josta suuri kiitos johtokunnalle. Johtokunta ei ollut uudistuksessa korostuvien asioiden suhteen täysin yksimielinen, kuten seuran nettisivuilla olevasta uutisoinnista voi lukea. Erityisesti kiistanalai-

nen on päämäärä seuran yhteiskunnallisen merkityksen kasvattamisesta, minkä voi myös ajatella johtavan ydinvoiman puolesta puhumiseen tieteelliselle seuralle vieraalla tavalla.

On ymmärrettävää, että ydinturvallisuutta valvovan viranomaisen edustajan ei ole syytä olla – edes omalla ajallaan – näkyvästi järjestämässä yhdistystoimintaa, joka voi kyseen-

alaistaa hänen riippumattomuutensa. Toivon kuitenkin, että ATS:n rivijäsenyyttä ei perusteetta julisteta synniksi viranomaiselle, sillä suomalaiselle ydinturvallisuudelle alan ammattikunnan yhteisöllisyys on parempi asia kuin eristäytyminen.

**Kai Salminen**



# Digitaalisten automaatiojärjestelmien verifiointi mallintarkastuksen avulla

Jussi Lahtinen<sup>1</sup>, Janne Valkonen<sup>1</sup>, Antti Pakonen<sup>1</sup>, Keijo Heljanko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

<sup>2</sup> Aalto-yliopisto

Nykyaikaisen digitaalisen automaatiojärjestelmän toimintaa ei monissa tapauksissa voida testata täysin kattavasti. Mallintarkastus on toiminnallisista vaatimuksista liikkeelle lähtevä formaali menetelmä, joka käy systemaattisesti läpi kaikki tarkastettavasta järjestelmästä laaditun mallin käyttäytymiset. Tällaisen kattavan analyysin avulla on mahdollista löytää suunnitteluvirheitä, joita pelkän testauksen ja katselmoinnin avulla voi olla vaikea havaita.

Modern digital instrumentation and control (I&C) systems cannot in many cases be exhaustively tested. Model checking is a formal method that is based on system requirements, and is able to take all system model behaviours into account. Through exhaustive analysis of model behaviour, design errors can be found in systems that have already undergone verification based on tests or reviews.

**S**UOMALAISTEN YDINVOIMALOIDEN uudet automaatoratkaisut perustuvat ohjelmitavaan tekniikkaan. Digitaaliset järjestelmät ovat usein niin monimutkaisia, ettei kattava testaus ole käytännössä mahdollista. Testauksen ja simuloinnin lisäksi on perinteisesti tukeuduttu katselmoiintiin, mutta täydellistä varmuutta järjestelmien virheettömyydestä ei ole näillä keinoin aina voitu saavuttaa. On siis olemassa selkeä tarve tehokkaammille tietokoneavusteisille verifiointimenetelmille.

## Mallintarkastus

Mallintarkastus on formaali menetelmä, jota voidaan käyttää järjestelmien verifiointiin ja suunnittelun apuvälineenä. Järjestelmästä laadittavan mallin lisäksi laaditaan järjestelmään liittyviä vaatimuksia, tyypillisesti nk. aikalogiikan lauseiden avulla. Tämän jälkeen kyseisten vaatimusten täytyminen voidaan kattavasti tarkastaa ohjelmistotyökalulla, jota kutsutaan mallintarkastimeksi. Mallintarkastin joko vahvistaa vaatimusten pitävyyden, tai palauttaa vastaesimerkin – mallin suorituspolun, joka rikkoo vaatimuksen. Vastaesimerkin analysoiminen voi paljastaa suunnitteluvirheitä. Merkittävää on se, että mallintarkastin huomioi kaikki vaatimusten kannalta oleelliset mallin käyttäytymiset, eikä mallintajan ole tarpeen määritellä yhtäkään testitapausta. Kyseessä ei kuitenkaan ole ns. brute force -menetelmä, vaan mallintarkastustyökaluissa on monia erittäin kehittyneitä menetelmiä järjestelmän mallin ja vaatimusten tehokkaaseen vertailuun.

Mallintarkastus on alun perin kehitetty piirisuunnittelun tarpeisiin, ja se onkin jo 1990-luvulta asti ollut keskeinen osa mikropiirin suunnitteluprosesseja. Menetelmä on kuitenkin osoittautunut hyödylliseksi

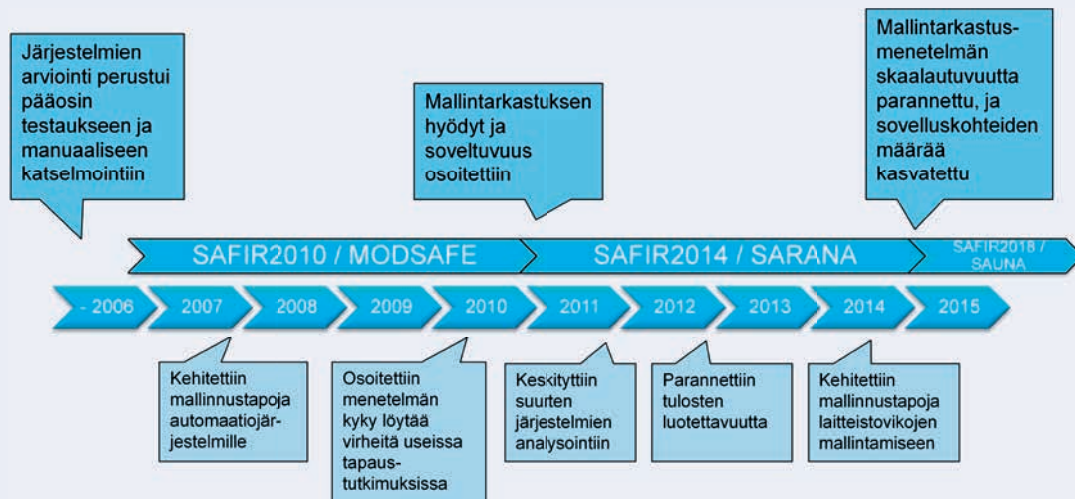


Kuva 1. Mallintarkastuksessa tarkasteltava järjestelmä mallinnetaan, ja järjestelmään liittyvät vaatimukset laaditaan aikalogiikan lausekkeina.

myös ohjelmistojen analyysissä, ja otettu käyttöön monissa suurissa yrityksissä kuten Nasa, Microsoft ja Intel.

## Mallintarkastus suomalaisessa ydinvoima-alan tutkimuksessa

Myös suomalainen ydinvoimayhteisö huomasi mallintarkastuksen potentiaalinalin, ja menetelmään liittyvä tutkimus aloitettiin SAFIR2010-tutkimusohjelman (The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 2007–2010) MODSAFE-projektissa vuonna 2007 VTT:n ja silloisen TKK:n yhteishankkeena. MODSAFE kehitti lähestymistapaa ydinvoimalaitosten automaatio-ohjelmistojen mallintarkastukseen. Pian havaittiin, että menetelmä on tietyissä kohteissa hyvin tehokas. Projektin aikana tehdyissä piloteissa löydettiin suunnitteluvirheitä, jotka käytännössä olivat jääneet huomioimatta niin katselmoinneissa kuin järjestelmätesteissäkin [1].



Kuva 2. Mallintarkastuksen kehitys suomalaisessa ydinturvallisuustutkimuksessa.

MODSAFE:n jälkeen tutkimusta jatkettiin SAFIR2014-tutkimusohjelman SARANA-projektissa (2010–2014). SARANA oli VTT:n ja Aalto-yliopiston yhteishanke, jonka yhtenä tavoitteena oli parantaa mallintarkastuksen skaalautuvuutta ja käytännön sovellettavuutta.

### Laajojen järjestelmien analysointi

Vaikka mallintarkastus on rajatuissa kohteissa erittäin tehokas, saattavat menetelmän rajat silti tulla vastaan, kun pyritään kerralla analysoimaan laajoja kokonaisuuksia. SARANA-projektissa ongelmaan vastattiin luomalla iteratiivinen tekniikka [2] laajojen mallien tarkasteluun. Tarkastettava järjestelmä jaetaan osamoduuleihin, jonka jälkeen pyritään löytämään mahdollisimman pieni näiden moduulien joukko, joka riittää kunkin yksittäisen vaatimuksen tarkastamiseen. Tekniikan avulla voidaan tarkastaa myös järjestelmiä, joiden analyysiin tietokoneen muisti tai käytettävissä oleva aika eivät muuten riittäisi.

### Laitteistovikojen mallinnus ja laitostason mallit

Siirryttäessä yksittäisten toimintojen analyysistä laitostason tarkasteluun, tulee automaation ohjelmistosuunnittelun lisäksi voida ottaa huomioon myös laitostason vikasietoisuuteen liittyviä asioita. SARANA-projektissa hyödynnettiin todennäköisyyspohjaisia luotettavuusanalyysimenetelmiä, ja luotiin vastaavia käytäntöjä mm. laitteistovikojen mallintamiseen [3]. Laatumalla malli niin, että ohjelmistosuunnittelun lisäksi on huomioitu ohjelmiston fyysinen hajautuminen useille laitteille, sekä erityisesti laitealustan eri vikaantumismekanismit, päästään analysoimaan mm. syvyyspuolustusta ja N+2-kriteerin täyttymistä erilaisissa vikatilanteissa.

### Luottamus analyysin tuloksiin

SARANA-projektissa paneuduttiin myös mallintarkastustulosten luotettavuuteen. Koska mallintarkastusohjelmisto voi myös itsessään sisältää virheitä, voi herätä kysymyksiä siitä, voidaanko mallintarkastimen analyysituloksiin luottaa. Yksi tapa lisätä luottamusta on käyttää rinnakkain useita toisistaan riippumattomia ja erilaisiin toteutuksiin perustuvia työkaluja. Jos kaikki työkalut antavat saman mallintarkastustuloksen, voidaan olla suhteellisesti varmempia tuloksen oikeellisuudesta, kuin vain yhtä mallintarkastustyökalua käyttämällä. Toisena ratkaisuna voidaan käyttää sellaista mallintarkastustyökalua, joka pystyy antamaan erillisen toisella työkalulla tarkastettavan todistuksen siitä, että malli vastaa annettua vaatimusta. [4]

### Työkalukehitys automaation tarpeisiin

Koska ohjelmoitavan automaation mallintarkastukseen tarkoitettuja työkaluja ei ole suoraan saatavilla, menetelmän soveltaminen vaati paitsi asiantuntemusta, myös jonkin verran mekaanista käsityötä. Työn tehostamiseksi VTT ja Fortum ovat yhdessä kehittäneet työkaluja toimilohkoihin perustuvien automaatio-ohjelmistojen verifiointiin [5]. Avoimen lähdekoodin Simantics-alustalle [6] kehitetty työkalu nimeltä MODCHK tarjoaa graafisen näkymän sekä mallin laadintaan että vastaesimerkkien tarkasteluun. Taustalla on suosittu avoimen lähdekoodin mallintarkastin NuSMV. Jatkossa on tarkoitus kehittää mm. integraatiota eri suunnittelu- ja mallinnustyökaluihin. Apros (Advanced Process Simulation Software) on ohjelmisto, jota käytetään laajalti ydinvoimalaitosten analyysiin. Koska myös Apros perustuu Siman-

tics-alustaan, ensimmäinen sovellus tulee olemaan AproS-automaatiomallin suora muunnos malliksi, jonka mallintarkastin ymmärtää.

### Tutkimuksesta käytännön soveltamiseen

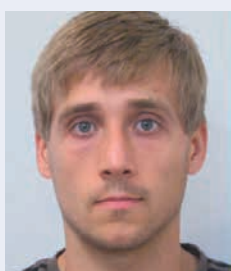
Tutkimustyössä saadut hyvät tulokset ovat osaltaan johtaneet siihen, että mallintarkastuksesta on jo tullut melko vakiintunut menetelmä suomalais-

sessä ydinvoimateollisuudessa. VTT on soveltanut mallintarkastusta sekä Fortumin LARA-projektissa turvaluokiteltujen automaatiotoimintojen riippumattomaan verifiointiin [5], että STUK:n toimeksiantamana Olkiluoto 3 -laitoksen automaatiojärjestelmien arviointiin. Tutkimustyö puolestaan jatkuu SAFIR2018-tutkimusohjelman SAUNA-projektissa, jossa aiheena on mm. mallintarkastuksen integrointi vaatimusten hallintaan, prosessimallinnukseen, ja todennäköisyyspohjaisiin analyysihin.

### Viitteet

- [1] Lahtinen, J., Valkonen, J., Björkman, K., Frits, J., Niemelä, I., and Heljanko, K. Model checking of safety critical software in the nuclear engineering domain. *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 105, p. 104 – 113, Elsevier, September 2012. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2012.03.021>).
- [2] Lahtinen, J., Kuismin, T., and Heljanko, K. Verifying large modular systems using iterative abstraction refinement. *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 139, p. 120–130, Elsevier, July 2015. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2015.03.012>).
- [3] Lahtinen, J. Verification of fault-tolerant system architectures using model checking. In *1st International Workshop on Development, Verification and Validation of Critical Systems (DEVVARTS)*, Lecture Notes in Computer Science, volume 8696, p. 195–206, Springer, September 2014. ([http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-10557-4\\_23](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-10557-4_23)).
- [4] Kuismin, T., and Heljanko, K. Increasing Confidence in Liveness Model Checking Results with Proofs. In *Proceedings of the 9th Haifa Verification Conference (HVC 2013)*, pages 32–43, Lecture Notes in Computer Science 8244, 2013.
- [5] Pakonen, A., Valkonen, J., Matinaho, J., and Hartikainen, M. Model checking for licensing support in the Finnish nuclear industry. *International Symposium on Future I&C for Nuclear Power Plants, (ISOFIC 2014)*, Jeju Island, Republic of Korea, 24–28 August, 2014.
- [6] Simantics platform for modelling and simulation. <http://www.simantics.org>

### Kirjoittajat



#### DI Jussi Lahtinen

Tutkija  
Systeemimallinnus ja -simulointi  
VTT  
[jussi.lahtinen@vtt.fi](mailto:jussi.lahtinen@vtt.fi)



#### DI Janne Valkonen

Erikoistutkija  
Systeemimallinnus ja -simulointi  
VTT  
[janne.valkonen@vtt.fi](mailto:janne.valkonen@vtt.fi)



#### DI Antti Pakonen

Tutkija  
Systeemimallinnus ja -simulointi  
VTT  
[antti.pakonen@vtt.fi](mailto:antti.pakonen@vtt.fi)



#### TkT Keijo Heljanko

Professori  
Tietotekniikan laitos  
Aalto Yliopisto  
[keijo.heljanko@aalto.fi](mailto:keijo.heljanko@aalto.fi)

# Lappeenrannan turvallisuus- tutkimuksen uudet tuulet

Juhani Hyvärinen<sup>1</sup>, Heikki Purhonen<sup>1</sup>, Arto Ylönen<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>LUT School of Energy Systems

Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa (LUT) on määrätietoisesti panostettu viime vuosina tutkimusinfrastruktuurin kehittämiseen. Kehittyneet mittausjärjestelmät mahdollistavat CFD-laatuisten kelpoistamismittaukset.

The research infrastructure of Lappeenranta University of Technology has been vigorously developed over the recent years. The advanced measurement systems enable the gathering of CFD-grade validation data.

## Turvallisuustutkimuksen suuntaviivat

Ydinvoimaloiden turvallisuusperustelussa keskeisiä ovat häiriö- ja onnettomuusanalyysit, joissa laitoksen käyttäytymistä tarkastellaan poikkeuksellisissa hyvinkin äärimmäisissä tilanteissa. Analyyseissä lasketaan laitoksen prosessien käyttäytymistä ja arvioidaan teknisten hyväksymiskriteerien täyttymistä. Aikaisemmin onnettomuusanalyysit on tehty erityisesti niitä varten kehitetyillä ohjelmilla, kuten Suomesa kehitetyllä APROS-ohjelmalla. Viime vuosina näihin perinteisiin onnettomuusanalyysiohjelmiin on ilmaantunut entistä enemmän aidosti kolmiulotteista mallinnusta, lisäksi analyyseissä on yhä useammin haluttu käyttää myös yleiskäyttöisiä virtauslaskentaohjelmia. Laskennan luotettavuuden arviointi on tärkeää, välineestä riippumatta, ja ainoa tapa saada käsitystä laskennan tarkkuudesta (ja ohjelmien käyttäjien taidoista) on verrata laskentatuloksia tarkkoihin mittauksiin.

## SAFIR2018 ja kansainväliset projektit

Kansallinen ydinturvallisuuden tutkimusohjelma SAFIR2018, kuten edeltäjänsäkin, keskittyy edelleenkin reaktoriturvallisuutta edistävän tiedon tuottamiseen ja valmiuksien parantamiseen. Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa (LUT) on perinteisesti työskennelty sekä koelaitteistojen parissa että laskettu kokeita tietokoneohjelmilla, ja LUTilla onkin hyvät valmiudet tehdä molempia.

Koelaitteistoja on kehitetty ottamalla käyttöön uusia mittausmenetelmiä, mutta myös sovellettu laitteistoja uudenlaisiin ilmiötutkimuksiin. SAFIR2018-tutkimushankkeet INFRAL, INSTAB ja INTEGRA liittyvät kaikki pääosiltaan koelaitteistoihin, joskin teoreettiset tarkastelut ovat entistä vahvemmin mukana. Erityisesti INFRAL-hankkeen uudet mittausmenetelmät ja niihin liittyvä teorian haltuunotto on yhä tärkeämpää.

OECD:n PKL3-hankkeen kokeet ovat olleet aiemman PAX:n- ja nykyisen INTEGRA:n osana. Osallistumalla kansainvälisiin hankkeisiin Suomi saa käyttöönsä aihepiiriin kuuluvaa ajantasaista tietoa. Ohjelmistokehitykseen liittyvien EU-hankkeiden (pitkän jatkumon viimeisenä

NURESAFE) myötä LUT on mukana kehittämässä mm. faasien välisen lämmönsiirron mallinnusta kolmiulotteiseen kaksifaasivirtauksen laskentaan lauhdutusallassovelluksissa.

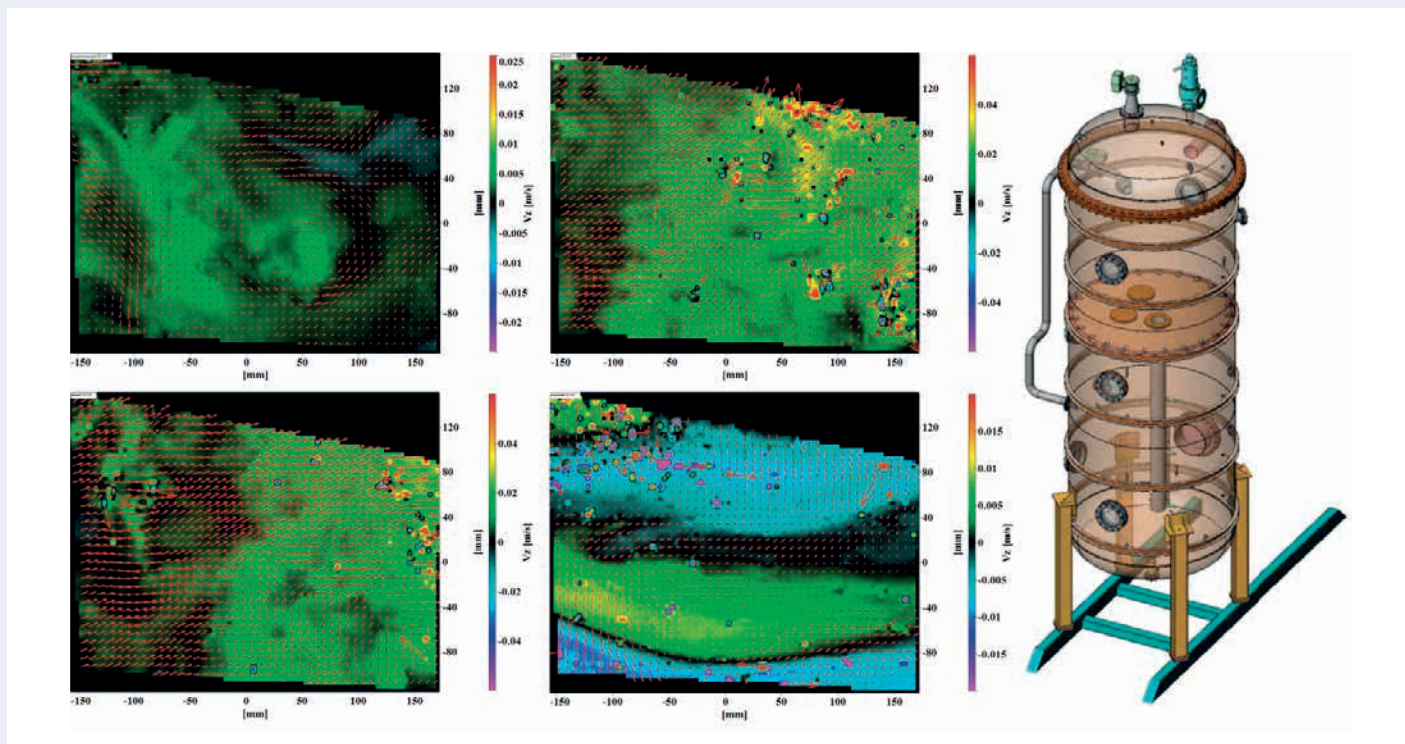
## Parannuksia mittaustekniikkaan

Lappeenrannan tutkimusinfrastruktuuria on parannettu merkittäväillä laitteistohankinnoilla ja niihin liittyvällä sovelluskehitystyöllä. SAFIR2014 ELAINE -projektissa otettiin vuosina 2011–2014 käyttöön kolme kehittyntä järjestelmää moniulotteisten virtauskenttien nopeaan kuvaamiseen. Virtauksen nopeuskenttien mittaamiseen soveltuva Particle Image Velocimetry (PIV) -tekniikka otettiin käyttöön LUT:issa vuonna 2011. PIV-mittausmenetelmä perustuu virtauksen mukana liikkuvien hiukkasten nopeuksien määrittämiseen. Järjestelmässä käytetään pulssitettua laser-valoa hiukkasten valaisemiseen ja sovelluskohteesta riippuen yhtä tai useampaa kameraa hiukkasten liikkeen havaitsemiseen (kuva 1). Myös Suomen Akatemia tuki mittausjärjestelmän hankintaa NUCPRI-projektissa.

Kolmen suurnopeuskameran järjestelmä ja virtaavan aineen sähkönsäilytyksen johtavuuden määrittämiseen perustuva lanka-anturitekniikka (WMS) ovat kaksi muuta uutta Lappeenrannassa käyttöön otettua mittaustekniikkaa.

Kolmen kameran yhdenaikainen käyttö ja kehitetyt hahmontunnistusmenetelmät auttavat näkyvien ja nopeiden virtausilmiöiden tulkitsemisessä. Menetelmää onkin sovellettu PPOOLEX-koelaitteistossa nopeiden lauhdutusilmiöiden kuvantamiseen ja tarkasteluun.

Lanka-anturitekniikkaa on käytetty kaksifaasivirtausmittauksiin käyttäen virtauskanavan poikkisuuntaisia antureita. Lanka-anturilla saada milimetriluokan hilakooilla selville hetkellinen aukko-osuus- tai konsentraatiojakauma virtauskanavassa, ja näin ollen kaksifaasivirtauksesta virtauksen rakenne (faasien välisen rajapinnan muoto) joka puolestaan määrää faasien välisen kitkan sekä massan- ja lämmönsiirron.



Kuva 1. Esimerkkejä PIV:illä mitatuista hetkellisistä nopeuskentistä (PPOOLEX-koelaitteisto). Virtaustilanne (kaasukuplat ja optiset vääristymät) voi heikentää mittauskuvien tulkittavuutta ja aiheuttaa ns. häiriövektoreita, joilla on eri suunta ja suuruus kuin ympäröivillä vektoreilla.

Myös pitkittäissuuntaisen anturin soveltuvuutta virtausmittauksiin on sittemmin tutkittu (kuva 2).

Lanka-anturi on rakennettu kahdesta lankakerroksesta, joiden muodostaman mittausverkon ristikkäispisteistä virtaavan aineen sähköjohtavuus mitataan (esim. 32 x 32 mittauspisteen verkko). Myös muita samaan mittauselektronikkaan perustuvia mittausratkaisuja on viime vuosina kehitetty esim. seinämäanturi nestefilmien mittaamiseen ja termistoreja hyödyntävä lanka-anturi kaasuvirtausten tutkimiseen (ETH Zürich). Anturitekniikan vahvuuksia ovat korkea mittaustaajuus (jopa 10 000 Hz) ja paikkaresoluutio (tyypillisesti alle 2 mm). Suurin haaste tekniikan käytössä on sen soveltaminen mittauksiin korkeassa paineessa ja lämpötilassa, mutta oikeilla materiaali- ja rakenneratkaisuilla nämäkin mittaukset ovat toteutettavissa.

Uusien mittausmenetelmien soveltamisella turvallisuustutkimukseen pyritään lisäämään tietoutta monimutkaisista virtausilmiöistä ja parantamaan niiden mallintamista. Tärkeässä roolissa on myös keskustelu koodinkehittäjien kanssa siitä mitä voidaan ja kannattaa kulloinkin yrittää koelaitteistosta mitata.

## Docendo discimus (Opettamalla opimme)

Lappeenrannan teknillisen yliopiston termohydraulisia koelaitteita käytetään myös opetukseen. Oppilastöihin ja demoihin sopii mm. HIPE-kiertopiiri, koska se toimii huoneen lämpötilassa ja –paineessa. HIPEen voidaan asentaa erityyppisiä lanka-antureita ja PIV-mittauksia, ja sillä voidaan demonstroida myös visuaalisesti virtausmuotojen muutoksia ja faasirajapinnan epästabiilisuutta laajalla virtausalueella.

LUT onkin keväällä 2015 aloittanut kokeellisen termohydrauliikan opettamisen englanninkielisenä kahden viikon intensiivikurssina. Kursilla perehdytään termohydrauliikan mittaustekniikoihin ja kokeiden suunnitteluun, demonstroidaan onnettomuusanalyysissä eteen tulevia rajoittavia ilmiöitä – muun muassa polttoaineen ylikuumenemista REWET-laitteella – ja tehdään paljon laboratorioharjoituksia, kuitenkin turvallisiksi mitoitetuilla erillisilmilaitteilla.

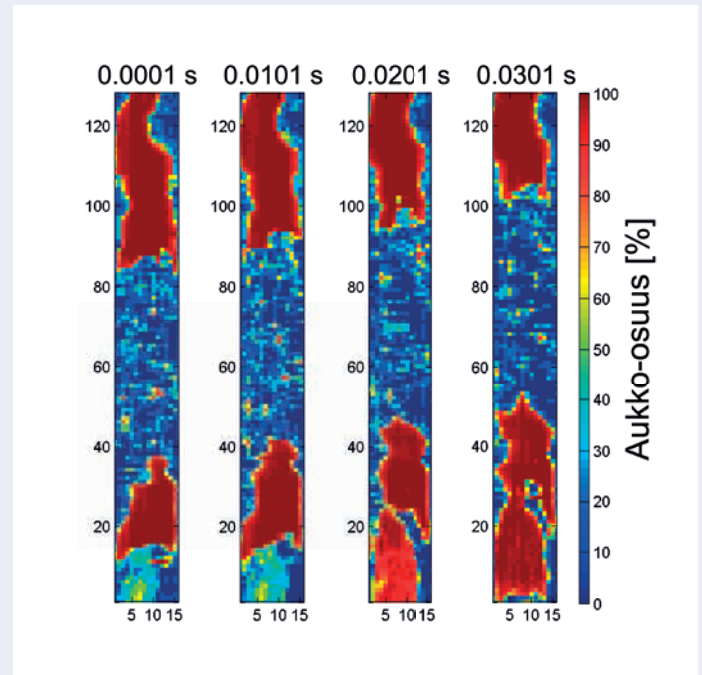
Isompien koelaitteiden dataa käytetään diplomitoissa ja väitöskirjatoissa. Laitosolosuhteita vastaavissa lämpötiloissa ja paineissa tapahtuvat termohydrauliset kokeet ovat hiukan liian suurimittaisia sopiakseen oppilastöiksi.

**Mitä huomenna?**

Virtauskenttien tarkkaan ja nopeaan havainnoimiseen kykeneviä tekniikoita voidaan toistaiseksi käyttää vasta melko vaatimattomissa lämpötiloissa ja paineissa, WMS:ää huoneen lämpötilassa ja PIViä suojarakennusolosuhteissa, siis muutaman barin ylipaineisessa järjestelmässä. Rajoitus johtuu antureiden materiaalitekniikasta.

Nykyisillä mittausjärjestelyillä saatavilla tiedoilla, varsinkin lanka-anturimittaukseen perustuvilla, olisi nyt ensi kertaa mahdollista hypätä merkittävästi tarkempaan kaksifaasivirtauksen fysiikan mallintamiseen. Reittejä näyttäisi olevan ainakin kaksi: yleistää faasienvälisen rajapinnan kulkeutumista koskevaa teoriaa niin, että se voitaisiin sisällyttää nykyisiin onnettomuusanalyysiohjelmiin, tai rakentaa onnettomuusanalyysien termohydrauliikka uudelleen 90-luvulla VTT:llä kehitetyn SFAV-mallin (Separating Fields According to Velocity) pohjalta. Kummassakin tapauksessa kaksifaasimallinnuksen fysikaalinen perusta tulisi kertaluokkaa nykyistä tukevammaksi.

Kokeellisella puolella tavoitteena on tietenkin mitata mahdollisimman laajalla toiminta-alueella. LUT pitää tiiviisti yhteyttä ETH Zürichiin, missä kuumiin ja paineenalaisiin oloihin suunniteltu lanka-anturi on jo prototyyppivaiheessa.



Kuva 2. Kaasifaasivirtaus (ilma-vesi) mitattuna pitkittäissuuntaisella 16 x 128 lanka-anturilla pystysuorassa 50 mm putkessa (HIPE-koelaitteisto). Anturi mahdollistaa monimutkaisten faasienvälisen rajapintojen ja virtauksen kehittymisen mittaamisen. Huom! Kuvasarjan kuvien välinen aika on 100 x mittauksen aikaresoluutio (0,0001 s).

**Kirjoittajat**



**TKT Juhani Hyvärinen**  
 Professori  
 Lappeenranta University of Technology  
 LUT School of Energy Systems  
 juhani.hyvarinen@lut.fi



**TKT Heikki Purhonen**  
 Tutkimusjohtaja  
 Lappeenranta University of Technology  
 LUT School of Energy Systems  
 heikki.purhonen@lut.fi



**Dr. Sc. Arto Ylönen**  
 Tutkijatohtori  
 Lappeenranta University of Technology  
 LUT School of Energy Systems  
 arto.ylonen@lut.fi

# Ydinvoimakanta: EOS

”Tunkio on tiivis läjä, joka hapettomana mätäneee ja haisee”

Biolan, kompostin perustarpeet

**M**AAN YSTÄVIÄ ja Suomen Atomiteknillistä Seuraa yhdistää se, että kumpikaan yhdistys ei vahingossakaan esitä julkisuudessa kannanottoa, joka voitaisiin tulkita ydinvoimamyönteiseksi. Veikkaanpa silti, että edellisen 25 euron jäsenmaksun maksaneista kovinkaan moni ei kannata ydinvoimaa, kun taas jälkimmäiseen joukkoon kuulumisesta neljä kymppiä vuodessa maksavista tuskin yksikään on ydinvoimavastainen.

Yhdistyksillä on myös yhteinen ongelma: ydinvoima-alan vastoinkäymiset. Ympäristöjärjestöiksi itseään kutsuvia harmittaa se, että ne eivät voi ottaa kunniaa ydinvoiman ahdin-

gosta. On vaikea rekrytoida uusia jäseniä tai saada jatkuvaa tulovirtaa nykyisiltä, kun tarhaikäisetkin tietävät, ettei ydinvoiman alasajoon tarvita maanystäviä. Riittää, kun alan avaintehtäviin palkataan jatkossakin kamreereja ja pykälänviilajia. Myös kuka tahansa alan ulkopuolinen kelpaa, jos muuten joudutaan valitsemaan alalla pitkään marinoitunut insinööri.

Eniten turvallisuusinsinööriä harmittaa se, että alan itse aiheutetun matalapaineen takia syysseminaarin tarjoilut tulevat vuosi vuodelta nirkoisimmiksi. Jos seminaarin tarjoilun tasosta ei pystytä pitämään kiinni, voi seura lopettaa itsensä tarpeettomana.



**T**URVALLISUUSINSINÖÖRILLÄ on edessä kiireinen kesä ydinvoima-asiointa seurattessa. Ensin jännitetään kuinka köykäistä dokumentaatiota kehdataan kutsua rakentamislupahakemukseksi. Samaan syssyyn päästäneen ihmettelemään ydinvoimazombieta – laitoshanketta, joka on samanaikaisesti elossa ja kuollut. Loppuloman viihdykettä on luvassa siinä, minkälaista säpinää Haluttoman ja Kyvyttömän pakkoavioliiton kuherruskuukausi tuo tullessaan.

Fennovoimalle rakentamislupavaihe on korkea aika muuttua oikeaksi ydinvoimayhtiöksi. Vaikka viranomainen onkin tyytynyt tähän saakka katsomaan yhtiön hapuilua ymmärtäväisesti

ja kirjavia lupauksia suurpiirteisesti, ei luvanhakijalta voi sentään enää sietää samaa. Mielikuvamarkkinoinnin aika on ohi, ja jatkossa tekeminen ja tulokset ratkaisevat.

TVO on koko kevään ollut epämääräisessä tilanteessa sen jälkeen, kun ministeri Vapaa-vuori torppasi tylästi yhtiön toiveet Olkiluoto 4:n jatkoajasta. Vähän on jopa käynyt säälliksi TVO:n johtoa, joka on joutunut vastaamaan hankalaan kysymykseen: ”Oletteko jo lopettanut unelmoimisen nelosyksikön rakentamisesta?” Oman osansa johdon tuskasta ja aikaisemmista virheistä on saanut henkilöstö isoissa YT-neuvotteluissa, jotka nekin ovat omalla tavallaan first-of-a-kind.

Fortum taasen on pelannut Hanhikivihankkeen suhteen itsensä erityisen pahaan välikäteen. Yhtiö on jo vuosikymmenen kuolannut Kuolan ja Karjalan vesivoimalaitosten perään, ja nyt kun neuvotteluissa vihdoin ollaan, on perääntyminen psykologisesti todella vaikeaa, vaikka järki sanoisi mitä. Kokeneen konkarin arvio onkin, että ainoa tapa saada hankkeen riskit hallintaan olisi valita laitoskonseptiksi Suomeen alun perin suunniteltu ja Kiinaan Tianwaniin rakennettu VVER-91 ja laittamalla vanha ivolainen vastuunkantamisen mentaliteetti keskiöön.

## Turvallisuusinsinööri

Tämä oli tältä erää viimeinen Turvallisuusinsinöörin kolumni ATS Ydintekniikassa. Lehti ja seura uudistuvat, ja nähtäväksi jää, onko uudessa uljaassa puitteessa enää sivun-kahden verran palstatilaa tunkion pöyhinnälle. Jos sinulla on sopiva talikko ja talkoohommat kiinnostavat, ilmoit-taudu lehden päätoimittajalle.

**Palautusosoite:**

Suomen Atomiteknillinen Seura  
PL 78  
02151 ESPOO



**ATS**

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA -  
ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND r.y.  
FINNISH NUCLEAR SOCIETY

---

KANNATUSJÄSENET

---

**Alstom Finland Oy**

**Platom Oy**

**Teknologian  
tutkimuskeskus VTT Oy**

**B+Tech Oy**

**Pohjoismainen  
Ydinvakuutuspooli**

**Teollisuuden Voima Oyj**

**Fennovoima Oy**

**Pohjolan Voima Oy**

**TVO Nuclear Services Oy**

**FinNuclear ry**

**Posiva Oy**

**Voimaosakeyhtiö SF Oy**

**Fortum Power  
and Heat Oy**

**Saanio & Riekkola Oy**

**Wärtsilä Finland Oy**

**Mirion Technologies  
(RADOS) Oy**

**Siemens Osakeyhtiö**