

ATS

1|2019

Vol. 48

YDINTEKNIikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

Nordic Nuclear Forum 2019

Kansainvälinen tapahtuma toteutettiin kansallisella yhteistyöllä.

KYT2018-tutkimus- ohjelman tulokset

Ohjelma tuotti neljän vuoden aikana 71 vertaisarvioitua lehtiartikkelia, 215 konferenssijulkaisua ja 36 opinnäytetyötä joista 12 oli tohtorinväitöksiä.

Positroniannihilaa- tiospektroskopia

Väitös mittausmenetelmän hyödyntämisestä ydinmateriaalitutkimuksessa.



Julkaisija / Publisher

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

Johtokunta / Board

Puheenjohtaja / President

DI Tuomas Rantala
puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja / Vice President

TkT Jaakko Leppänen
jaakko.leppanen@vtt.fi

Sihteeri / Secretary General

FM Antti Rätty
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Pekka Kupiainen
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

Jäsenet / Board Members

DI Lauri Rintala
lauri.rintala@fennovoima.fi

DI Simo Saarinen
simo.saarinen@fortum.com

TkT Vesa Tanskanen
vesa.tanskanen@lut.fi

Toimihenkilöt / Functionaries

ATS Young Generation

DI Antti Lammela
antti.lammela@fennovoima.fi

Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

DI Henri Ormus
henri.ormus@fennovoima.fi

Women in Nuclear Finland

FM Eveliina Muuri
eveliina.muuri@helsinki.fi

www.vastaava / Webmaster

DI Juha-Pekka Hyvärinen
webmaster@ats-fns.fi

ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkL Eero Patrakka
eero.patrakka@kolumbus.fi

Toimitus / Editors

Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

DI Anna Korpinen
anna.korpinen@vtt.fi

Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

TkT Jarmo Ala-Heikkilä
jarmo.ala-heikkila@aalto.fi

Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

DI Tapani Raunio
tapani.e.raunio@fortum.com

Toimitussihteeri / Lay-out Editor

Katariina Korhonen
Suunnittelutoimisto Creatus
katariina@creatus.fi

Toimitus / Editorial Staff

DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@welho.com

DI Lauri Rintala
lauri.rintala@fennovoima.fi

DI Henri Loukusa
henri.loukusa@vtt.fi

FM Sophie Haapalehto
sophie.haapalehto@posiva.fi

Toimituksen yhteystiedot

ATS Ydintekniikka

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

Painopaikka

Hämeen Kirjapaino Oy, Espoo

ISSN-0356-0473

Vuonna 1966 perustetun Suomen Atomiteknillisen Seuran (ATS) tarkoituksena on edistää ydintekniikan alan tuntemusta ja kehitystä Suomessa, toimia yhdysiteenä 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 pitää itsellään oikeuden lyhentää, tiivistää ja muokata julkaistavaksi tarkoitettuja artikkeleja ja kirjoituksia.

Itsensä kehittämistä



MINULTA KYSYTTIIN taannoin tarkennusta erääseen historialliseen tapahtumaan. En muistanut tarkkaan, miten asia meni, joten vastasin rehellisesti, etten tiedä. Lisäsin vielä, että en oikein koskaan ole ollut hyvä historiassa. Tämä ei sellaisenaan kuitenkaan pidä aivan paikkaansa: en ehkä ole vain tarpeeksi kiinnostunut historiasta, jotta pystyisin sujuvasti keskustelemaan historiallisista merkkitapahtumista. Minun mielestäni sujuva keskustelu nimittäin pohjautuu faktoihin.

Olen aina ajatellut, että ihminen voi pärjätä missä tahansa, kunhan jaksaa tehdä töitä. Itse en esimerkiksi kouluaikana kokenut olevani mitenkään erityisen lahjakas vaikkapa matemaattisesti, mutta pidin tehtävien ratkaisemisesta ja jaksoin siksi harjoitella. Tuloksena oli hyvä todistus ja opiskelupaikka Teknillisessä korkeakoulussa, myöhemmin työ tutkijana. Tämä tapahtumaketju on ennen kaikkea pitkäjänteisen työn tulos eikä kerro vaikkapa älykkyydestä.

Toki haluan antaa itsestäni älykkään kuvan. Minun ajatuksissani älykkäillä ihmisillä on mielipiteitä jotka pohjautuvat laajaan ymmärrykseen erilaisista asioista kuten politiikasta, tekniikasta ja historiasta. Niin ja ne faktat täytyy olla kunnossa, sillä se on pohja, jolle mielipiteet rakennetaan. Nykypäivänä tietoa on olemassa kuitenkin niin valtavasti, ettei edes noita luettelemiani alueita voi kukaan hallita perinpohjaisesti.

Ihanneihminen käyttää vapaa-aikansa itsensä kehittämiseen. Hän paneutuu tutkijan tarmolla johonkin itselleen vieraaseen asiaan. Etsii tietoa, kunnes ymmärtää kokonaisuuden. Tämän jälkeen hänellä on oikeus esittää asiaa oma näkemyksensä, ehkä jopa mielipiteensä. Näin toimii ihanneihminen, mutta en minä.

Minun on tunnustettava, että energiaa harvemmin riittää enää varsinaiseen itseni kehittämiseen. Yritän pitää pääni pinnalla omalla alallani ja seurata politiikkaa, mutta siihen se jää. Käytän mieluummin vapaa-aikani nautiskellen vaikkapa hyvästä ruuasta ja kauniista

asioista. Korkeintaan tarkistan, kuka suunnittelija on vastuussa mistäkin huonekaluklassikosta.

Kiinnostuksen kohteet ovat moninaisia eikä pitäisi arvottaa älykkyyden liittyvän vain osaan niistä. Tiesittekö että Kartellin Masters-tuolin selkänoja koostuu kolmen klassikkotuolin profiileista, jotka ovat Arne Jacobsenin Seiska-tuoli, Ray ja Charles Eamesin DSR-tuoli ja Eero Saarisen Tulppaani-tuoli?

Anna Korpinen

Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Itsensä kehittämistä.....	3
Pääkirjoitus: Tutkimuksen ja opetuksen polulla.....	4
Editorial: On track with research and education.....	5

Tapahtumat

Nordic Nuclear Forum 2019 – aiheena ydinlaitoksen koko elinkaari	6
ATS:n vuosikokous järjestettiin Fortumilla.....	10
Ajankohtaista	
Osaajat: Hommissa Pariisissa.....	12
Nuclear energy in France – Status and perspectives.....	16
Developments at the University of Helsinki Radiochemistry Unit.....	18

Tiede ja tekniikka

KYT2018-tutkimusohjelma päättyi – Sisällölliset tulokset lyhyesti.....	21
<i>Kari Rasilainen, Aku Itälä</i>	
Väitös: Positroniannihilaatiopektroskopia ja sen potentiaali ydinmateriaali- tutkimuksessa.....	25
<i>Janne Heikinheimo</i>	

Tutkimuksen ja opetuksen polulla

PALJON JA NOPEASTI TAPAHTUU yliopistokentällä. Vuoden 2018 alussa Lappeenrannan teknillinen yliopisto yhdistyi Saimaan ja Lahden ammattikorkeakoulujen kanssa LUT-konserniksi. Näin ollen myös Lahteen perustettiin yliopistokampus ja yliopiston uudeksi hallinnolliseksi nimeksi astui voimaan Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT; arkikäytössä LUT-yliopisto. Energiatekniikan sekä kone- ja sähkötekniikan maisteritason opetusta tarjoamme myös Turussa. Lappeenranta houkuttelee myös ulkomaisia opiskelijoita, joten yliopistomme maisteriohjelmat, mukaan lukien Suomen ainoa ydintekniikan maisteriohjelma, ovatkin jo pääosin englanninkielisiä.

Ydinalan opetuksen turvaaminen nähdään tärkeäksi Opetus- ja kulttuuriministeriössä, jolta LUT sai valtakunnallisen tehtävän ydintekniikan ja -turvallisuuden opetuksessa vuosille 2017–2020. Valtakunnallisen tehtävän ensimmäisenä konkreettisena toimenpiteenä LUTissa avattiin haku ydintekniikan, erityisesti reaktorifysiikan ja reaktoridynamiikan tenure track -tehtävään. Tenure track on yliopistojen urapolku, jossa tähdätään täyteen professorin tehtävään vaiheittaisen pätevöitymisen kautta. Käytännössä tämä tarkoittaa toimimista yhdestä kolmeen nelivuotiskautta aluksi ”assistant professor”- ja sitten ”associate professor” -apulaisprofessoritasoilla ennen täyttä professuuria. Ydintekniikan tenure track -paikka täytettiin syksyllä 2017 toiselle ”assistant professor” -portaalle, eli kahdeksan vuoden päähän vakinaistetusta professuurista. Tenure track ei ole oikotie onneen, vaan sisältää kunkin kauden lopulla etenemisarvioinnin varsin tiukkoine kriteereineen.

Yliopistolain mukaan yhtenä yliopistojen tehtävänä on antaa tutkimukseen perustuvaa ylintä opetusta. Ydintekniikan tutkimuksen painopiste LUTissa on perinteisesti ollut termohydraulisissa kokeissa ja niitä tukevilla laskennallisissa analyyseissä. Tenure track -tehtävän tarkoituksena on vahvistaa myös toisen ydintekniikan fundamenttialueen, reaktorifysiikan, tutkimusta ja opetusta LUTissa. Professoripolun ensimetreillä tämä tapahtuu ydintekniikan täyden professorin



siipien suojissa, mutta tavoitteena on lopulta itsenäisen tutkimusryhmän muodostaminen uuden professuurin ympärille. Ensimmäinen askel tämän tavoitteen saavuttamiseksi onkin jo otettu uuden väitöskirjatutkijarekrytoinnin myötä.

Reaktorifysiikan tutkimuksessa keskitymme etsimään vastauksia käytännön kannalta merkityksellisiin tutkimuskysymyksiin. Erityisen mielenkiintoisena tutkimusalueena näemme toisiinsa kytkeytyneet monifysikaaliset ilmiöt, joiden tarkasteleminen kehittyneillä laskentamenetelmillä hyödyntäen nykytietokoneiden laskentatehoa tarjoaa haasteita ja voi vielä paljastaa jotain uutta. Näin ollen kehitämme myös laskentainfrastruktuuriamme sekä työkalupakkiamme, jonka tärkeänä osana VTT:llä kehitettävä Kraken-laskentajärjestelmä tulee olemaan. Toki erityisesti monifysikaalisten ilmiöiden tarkasteluihin liittyen pidämme yllä myös omaa menetelmäkehitystä. Pyrimme osaltamme edesauttamaan Krakenin kehittämistä sekä integroimaan sen osaksi ydintekniikan opetusta. Näin LUTista valmistuvat

saavat tulevaisuudessa oppikirjateorian lisäksi kokemusta myös käytännön reaktorilaskennasta ajanmukaisilla työkaluilla.

Ydinturvallisuustutkimuksen SAFIR2022-ohjelma käynnistyi ja uuden ohjelman aikana kehitämme erityisesti tutkimusinfrastruktuuriamme. Pyrimme pitämään vielä tarpeelliset suuret laitteistot kunnossa ja osalle vanhemmista laitteistoista olemme kustannustehokkaasti löytäneet kokonaan uusia käyttötarkoituksia. Valmistaudumme myös tulevaisuuden tutkimustarpeisiin. Koelaitteiden uutta sukupolvea tulee edustamaan vaihdettavista moduuleista koostuva MOTEL-laitteisto, joka voidaan moduuleita vaihtamalla koota edustamaan eri kevytvesireaktorityyppejä. Pienreaktoreista (SMR) on tullut ajankohtaisia ja niihin liittyviin tutkimushaasteisiin olemmekin jo varautuneet MOTEL-laitteiston ensimmäisen vaiheen tullessa edustamaan tyypillistä pienreaktoria kierreputkihöyrystimineen. Tätä kirjoitettaessa laitteiston tukirakenteet on juuri saatu pystytettyä.

Kokeet ja niistä tehdyt mittaukset auttavat ymmärtämään monimutkaisia ilmiöitä ja mahdollistavat myös turvallisuusanalyysissä käytettävien laskentamenetelmien validoinnin. Valmiudet ja asiantuntemus vastata yllättäviinkin tutkimushaasteisiin nopeasti on SAFIR-tutkimuksen ydintarkoitus. Valmiuksien ylläpito vaatii satsauksia mutta maksaa lopulta itsensä takaisin, kun eteen tulee jotain yllättävää, kuten OL3:n paineistimen yhdyslinjan värähtelyt, joihin liittyviä ongelmia ratkaistiin myös LUTin laboratorioissa viime metreillä ennen laitoksen käyttöluvan myöntämistä.

Erityisen houkutteleva käyttötarkoitus pienreaktoreille Suomessa olisi kaukolämmön tuotanto. Kaukolämpöreaktorin lämpötilat ja paineet voisivat olla selkeästi matalammat ja sopiva lämpötehokin pari kertaluokkaa pienempi kuin isoilla sähköä tuottavilla laitoksilla. Olemmekin LUTissa alkaneet pohtia voisiko sellaisen suunnitella ja valmistaa ihan kotimaisin voimin.

TKT Heikki Suikkanen
Apulaisprofessori (tenure track)
LUT-yliopisto

On track with research and education

A LOT AND FAST IS HAPPENING in the university sector. Lappeenranta University of Technology merged with Saimaa and Lahti Universities of Applied Sciences and formed LUT Group. Another university campus was established in Lahti and the new administrative name of the university changed to Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT; LUT University in everyday use. We offer Master's level education in energy technology as well as in mechanical and electrical engineering also in Turku. Students from abroad have also found their way to Lappeenranta, so the majority of our Master's programs, including the only Master's program in nuclear engineering in Finland, are already in English.

The Ministry of Education and Culture considers it important to secure the education in the nuclear field as LUT was granted a national mission in teaching nuclear engineering and safety between 2017–2020. As the first concrete action of the national mission, a call was opened to the tenure track position in nuclear engineering, especially in reactor physics and reactor dynamics. Tenure track is a university career path aiming at a full professorship through gradual professional development. In practice this means working from one to three four-year periods first as an assistant professor and then as an associate professor before a full professorship. The tenure track position in nuclear engineering was filled in the autumn 2017 to the second assistant professor stage, i.e., eight years from a tenured professorship. Tenure track is not a shortcut to happiness but includes a progress evaluation against rather strict criteria at the end of each period.

According to the Universities Act, one of the tasks of universities is to give highest education that is based on research. The focus of nuclear engineering research at LUT has traditionally been in thermal-hydraulic experiments supported by calculational analyses. The purpose of the tenure track position at LUT is to strengthen the research and education of reactor physics; another fundamental area of nuclear engineering. In the begin-

ning of the tenure track this is done under the wings of the full professor of nuclear engineering, but eventually the aim is to form an independent research group around the new professorship. A first step towards this objective has already been taken in the form of a new doctoral student recruitment.

In reactor physics research we will search for answers especially to research questions that have practical significance. As a particularly interesting research area we see the interdependent multi-physical phenomena, which, when investigated with modern calculation methods utilizing the computing power of modern computers, offers challenges and may still reveal something new. Thus, we will develop both our computing infrastructure and toolset, of which the Kraken calculation system under development at VTT will be an important part. However, we will also maintain own calculation method development especially for multi-physics analyses. We intend to support the development of Kraken and also integrate it to the nuclear engineering education so that the graduates from LUT will, in addition to text book theory, also be equipped with experience of practical reactor calculations with modern tools.

The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 2019–2022 (SAFIR2022) has launched and we will develop especially our research infrastructure during the new programme. We aim to maintain the still useful large facilities in a good condition and for some of the older facilities we have cost-effectively found entirely new uses. We are also preparing for future research needs. The MOTEL facility consisting of replaceable modules that can be configured to represent various light water reactor types represents the new generation of research facilities. Small modular reactors (SMR) have become topical and with some foresight, we are already prepared for the research challenges involved, as the first phase of MOTEL will represent a typical SMR with a helical coil steam generator. The support structures of MOTEL have already been erected at the time of writing.

Experimental measurements help us to understand complex phenomena and also contribute to the validation of the calculation methods used in safety analyses. Readiness and expertise to meet even the unexpected research challenges quickly is the core purpose of SAFIR research. Maintaining readiness requires investment, which eventually pays for itself when something sudden comes about. A good example are the vibrations of the OL3 pressurizer surge line, which appeared just before obtaining the operating license. Problems related to the vibrations were solved also at the LUT laboratories.

District heating would be an especially tempting use case for SMRs in Finland. Operating temperatures and pressures of a district heating reactor could be significantly lower and the thermal power two orders of magnitude smaller than in large plants producing electricity. At LUT we have started to consider if such a reactor could be designed and manufactured in Finland.

D.Sc. (Tech) Heikki Suikkanen
Assistant professor (tenure track)
LUT University



Nordic Nuclear Forum 2019

– aiheena ydinlaitoksen koko elinkaari

Finlandia-talossa järjestettiin 5.–6.2.2019 kaikkien aikojen ensimmäinen Nordic Nuclear Forum (NNF2019), suomalaisten järjestämä kansainvälinen ydinenergia-alan tapahtuma. Teemana oli ydinlaitoksen koko elinkaari ja tietysti esitettynä suomalaiseen ympäristöön soveltuen ja sovellettavaksi. Koko tapahtuma toteutettiin kansallisella yhteistyöllä, FinNuclearin toimiessa pääorganisoijana. Tapahtuman pääkumppaneita olivat työ- ja elinkeinoministeriö, Fennovoima, Fortum, STUK International, Teollisuuden Voima/Posiva ja VTT.

Teksti: Leena Jylhä ja Liisa Heikinheimo **Kuvat:** FinNuclear



DI Leena Jylhä
FinNuclear ry
Toiminnanjohtaja
leena.jylha@finnuclear.fi



TkT Liisa Heikinheimo
Teollisuusneuvos
Työ- ja elinkeinoministeriö
liisa.heikinheimo@tem.fi

OSALLISTUJEN MÄÄRÄ OLI NOIN 600, kahdenkeskisiä tapaamisia järjestettiin noin 300 ja näyttelleasettajia oli 40. Esityksiä pidettiin kahden päivän aikana kuudessa istunnossa yhteensä 27 ja lisäksi ohjelmaan kuului kaksi paneelikeskustelua. Tilaisuus täytti varsin hyvin kansainvälisen merkittävän ydinenergiatapahtuman tunnukset.

Nordic Nuclear Forumin tavoitteena oli koota sekä suomalaiset ydinenergia-alan toimijat, asiantuntijat ja erilaiset alihankkijat yhteen verkostoitumaan ja tarjoamaan uusia mahdollisuuksia ydinenergian sovelluksiin. Toisena teemana oli kuulla kansainvälisten järjestöjen, kuten IAEA, Euratom, World Nuclear Association (WNA) ja Foratom, ajankohtaisia asioita ja tarjota kansainvälisille ydinenergia-alan toimijoille mahdollisuus esittäytyä suomalaiselle yleisölle. Konferenssin teemat valittiin siten, että kukin pääjärjestäjistä pääsi isännöimään yhtä jaksoa.

Tavoitteita valmisteluryhmässä asetettiin tilaisuudelle sekä osallistujien ja näyttelleasettajien määrän että esitysten korkeatasoisuuden suhteen. Tavoite oli, että järjestämällä kahden päivän intensiivisen foorumin, saavuttaisimme oleellisesti paremman tuloksen vaikuttavuudessa kuin osallistumalla erilaisiin kansainvälisiin tapahtumiin tai vieraillessamme valituissa maissa kohdennetusti. Näitä

vaihtoehtoisia kohdennettuja tilaisuuksia on järjestetty useita viime vuosina ja tullaan tietysti järjestämään jatkossakin Suomen ydinenergia-alan kontaktien ja yhteistyömahdollisuuksien kehittämiseksi.

Tilaisuus oli vastaus kysyntään

FinNuclear on toimintansa alusta lähtien koonnut ja toteuttanut vuosittain erikokoisia ulkomaille suuntautuvia yritysten yhteisesiintymisiä; delegaatioita tai messuosastoja. Suomalaisesta ydinenergia-alan huippuosaamisesta puhutaan kuitenkin niin paljon, että syntyi idea järjestää kerranakin Suomen kamaralla tasokas ydinenergia-alan kansainvälinen tapahtuma ja pyrkiä saamaan potentiaaliset asiakkaat paikan päälle katsomaan miten esimerkillisesti meillä on asiat hoidettu ydinlaitosten koko elinkaareessa. Tekemällä rohkea ulostulo toimialan puolesta voitaisiin samalla pyrkiä käymään faktoihin perustuvaa keskustelua ydinenergian merkityksestä ilmastomuutoksen kannalta, sähkön ja lämmön tuotannossa ja liiketoiminta-alueena, sekä mahdollisesti lisätä sitä kautta toimialaa kohtaan sen ansaitsemaa arvostusta.

Näistä lähtökuopista esitettynä, FinNuclearin hallitus vuonna 2017, hyväksyi suunnitelman pyrkiä toteuttamaan Nordic Nuclear Forum -niminen ydinenergia-alan tapahtuma vuonna 2019.

Samaan aikaan työ- ja elinkeinoministeriön energiaosasto on saanut runsaasti kutsuja esittämään suomalaista ydinenergiaosaamista, projekteja ja toimintatapoja. Näihin onkin vastattu aktiivisesti viime vuosien aikana pi-



Tilaisuuden avauspuheenvuoroissa kuultiin kansainvälisten järjestöjen ja TVO:n näkemyksiä ydinenergian käytöstä ja tulevaisuudesta. Kuvassa OECD NEA:n pääjohtaja William Magwood.

tämällä kohdennettuja tilaisuuksia ja tarjoamalla yrityksille mahdollisuuksia esittäytyä mm. Pariisissa, Lontoossa, Budapestissa, Tokiossa ja Pekingissä. Kysyntä esittäytymisille on ollut kuitenkin suurempaa kuin mahdollisuudet vastata pyyntöihin. Toisaalta kohdistetuissa ministeriövetoisissa tilaisuuksissa harvoin päästään kovin lähelle liiketoiminnan kannalta tärkeitä kontakteja ja keskusteluja, vaan nämä edellyttävät erityistä foorumia, johon NNF2019-tilaisuudessa pyrittiin.



NNF2019:n valmisteluvaihe ja ohjelma

FinNuclear käynnisti keskustelun vuoden 2018 alussa ydinenergia-alan kansallisten avainkumppanien – työ- ja elinkeinoministeriö, TVO/Posiva, Fortum, Fennovoima, STUK International ja VTT – kiinnostuksesta lähteä rakentamaan tapahtumaa yhdessä. Melko nopeasti päästiin asiasta yhteisymmärrykseen, ja kumppanien edustajista muodostettiin tapahtuman ohjausryhmä, joka kokoontui ensimmäisen kerran toukokuussa 2018. Ohjausryhmän puheenjohtajaksi kutsuttiin teollisuusneuvos Liisa Heikinheimo TEM:stä. Ohjausryhmän kokoonpanossa toimivat seuraavat henkilöt:

- Liisa Heikinheimo, TEM
- Leena Jylhä, FinNuclear
- Juha Miikkulainen, Fennovoima
- Miko Olkkonen, Fortum
- Pekka Ottavainen, STUK International
- Matti Paljakka, VTT
- Juha Poikola, TVO/Posiva

Kumppanien rooli oli koota kaksipäiväinen konferenssi, jonka punainen lanka olisi ydinlaitoksen koko elinkaari. Jokainen kumppani otti konferenssin yhden session vastuulle. Konferenssiin muodostui seuraava rakenne:

- Session 1 | The new era of nuclear energy, hosted by FinNuclear
- Session 2 | Nuclear safety and regulators' role, hosted by STUK International
- Session 3 | Innovations in Nuclear Technology, hosted by VTT
- Session 4 | Nuclear new build, hosted by Fennovoima
- Session 5 | Lifetime of existing reactors, hosted by TVO
- Session 6 | Recipes for efficient waste management and decommissioning, hosted by Fortum

Tapahtuman toteuttamisen operatiivinen projektiryhmä muodostettiin FinNuclearin henkilöstöstä: Megumi Asano-Ulmonen, Jekaterina Lavonen, Marjut Vähänen, Marika Annila ja Leena Jylhä. Taloudelliset riskit tapahtuman toteutuksesta ja tuotannosta kantoi FinNuclear Oy. Ilman tätä tapahtumaan sitoutunutta ja ydinenergia-tapahtumien järjestämiseen erikoistunutta toimijaa ei tilaisuuden järjestäminen olisi ollut mahdollista.

NNF2019 tilaisuudessa oli noin 40 näytteilleasettajaa, myös ATS oli mukana. Kuvassa Henri Ormus vastaamassa kyselijöille.

TAPAHTUMAT

Konferenssin ohella päätettiin toteuttaa teollisuusnäyttely, kahdenkeskisiä tapaamisia sekä kiinnostuneille vielä lisäohjelmalla mahdollisuus vierailuun aidosti suomalaisissa ydinenergia-alan ympäristöissä kolmantena tapahtumapäivänä. Syksyn aikana Fortumin Miko Olkkonen esitti idean tarjota vieraille myös virtuaalisia vierailuja excursiokohteisiin. Tämä aloite toteutettiin lohkaisemalla Finlandia-talolta erillinen Virtual Reality -alue (VR) suomalaisten ydinvoimalaitosten esittelyyn. Samalla Fortumin VR-tekniikan soveltaminen ydinvoimalaitoksessa esittelynäyttävästi yleisölle. VR-tekniikasta on pidetty erilaisia esitelmiä ja sessioita kansainvälisissä tapahtumissa, mutta Finlandia-talon VR-huone taisi todellisine kohteineen olla ainutkertainen kokemus vierailijoille.

NNF2019-tapahtuman markkinointiin panostettiin intensiivisellä otteella sekä monia eri kanavia hyödyntäen. Tähän tarvittiin kaikkien suunnittelutoimikunnan jäsenten mutta myös taustalla olevien toimijoiden laajemmat verkostot. FinNuclearin tiimi organisoii tapahtuman tuotannon itsenäisesti ilman ulkopuolista konferenssijärjestäjää luottaen omaan, vuosien aikana kertyneeseen tapahtumahallinnan osaamiseen. Ulkopuolista apua käytettiin visuaaliseen suunnitteluun ja tekniseen toteutukseen sekä kalustukseen, sillä tapahtumasta haluttiin saada näyttävä, mieleenpainuva ja osaltaan maakuva edistävää myös ulkoisten puutteiden osalta.

Lopputulosta arvioitaessa tämä omin asiantuntijavoimin toteutettu tilaisuus sai runsaasti kiitosta. Moni kansainvälinen vieras koki tulensa henkilökohtaisesti kutsuttuna mukaan



tilaisuuteen, jossa kaikki yksityiskohdatkin oli suunnattu ydinenergia-alan toimijoiden tarpeisiin.

Tapahtuma-avustajiksi saatiin värvättyä sekä energia-alan että markkinoinnin asiantuntijoita. Lisäksi yhtiöistä ja ministeriöstä osallistui toteutusvaiheessa erilaisiin tehtäviin antaen arvokkaan tukensa. Tapahtuman suunnittelu tehtiin hyvin tiiviisti, mutta kokoustamista saatiin rajattua hyvän valmistelutyön ansiosta ja ohjausryhmä kokoontui kaikkiaan 8 kertaa ennen tapahtumaa.

NNF2019-tilaisuuden toteutus 5.–7.2.19

Tapahtumapaikka Finlandia-talon pääsali auloiheen rakennettiin NNF2019 käyttöön yhden

illan ja yön aikana. Aamulla kuitenkin kaikki oli valmista ja näyttely otti vastaan vierailijat toisen kerroksen aulassa.

Tapahtumapäivänä konferenssi käynnistyi TEMin avauksella ja ylijohtaja Riku Huttusen katsauksella ydinenergian globaaliin rooliin ja CO2-vapaan tulevaisuuden vastuusta. Samasta aiheesta EU:n komission näkökulmasta jatkoi puheenvuorolla ”The role of nuclear energy in the low carbon future”, johtaja Massimo Garrriba. Johtaja Garrriban puheenvuoro herätti myös median mielenkiinnon, kun hän kertoi, että komissio nostaa ydinvoiman takaisin EU:n ilmasto- ja energiapolitiikan keskustelujen ytimeen. ”Pitkällä tähtäimellä EU-maiden sähköntuotanto koostuu kahdesta osatekijästä: uusiutuvista energialhteista ja ydinvoimasta”, Garrriba sanoi. Hänen mielestään Euroopan ydinvoimateollisuuden tulisi panostaa erityisesti pienten, modulaaristen reaktoreiden (SMR) kehittämiseen. SMR:ien vahvuutena hän näki konseptin joustavuuden sekä mahdollisuuden nopeampaan rakentamisaikatauluun. Lisäksi SMR-konseptissa laitoksen investointikulut ovat vain osa perinteisestä ydinvoimalaitoksesta. Sähköntuotannon lisäksi pieni reaktori voi tuottaa esimerkiksi kauko- tai prosessilämpöä. EU:n olisi Garrriban mukaan oltava tämän ydinvoiman uuden aallon huipulla, mutta hän piti hidasteena nykyisenlaista luvituskäytäntöä, joka ei pienten sarjatuotantoreaktoreiden kohdalla olisi enää tarkoituksenmukainen. Selvänä tavoitteena luvittamiselle hän näki SMR-reaktorien luvituksen harmonisoinnin ainakin Euroopassa Avausession puhujana esiintyi myös OECD:n Nuclear Energy Agencyn pääjohtaja William Magwood puhumalla aiheesta ”Decarbonisation of electricity and the need of innovations”. WNA:n hallituksen puheen-





Osana NNF2019-näyttelyä oli myös Virtual Room, jossa esiteltiin VR-tekniikan mahdollisuuksia ja vierailijat saattoivat käydä suomalaisissa ydinvoimalaitoksissa. Suomessa VR ei ole vain kiinnostava tulevaisuuden aihe vaan käytössä olevaa tekniikkaa.

johtaja Kirill Komarov jatkoi samasta teemasta aiheella "Nuclear performing to meet growing clean energy demand". Ydinvoimalaitoksen käytön näkökulman avaussessioon toi johtaja Marjo Mustonen TVO:sta. Marjo Mustonen nosti esityksessään konkreettisesti esiin mitä tarkoittaa koko elinkaaren kattaminen, ja toisaalta mitä tarkoittaa, kun laitoksen käyttö on jo kestänyt 40 vuotta. Lisäksi Mustonen painotti yksilöiden roolia kokonaisuuden tekemisessä, kuinka oman työn ymmärtäminen ja mieltäminen – erityisesti turvallisuuden näkökulmasta – näkyy laitosten käytössä ja uuden laitoksen rakentamisessa.


Foratomin pääjohtaja Yves Desbazeille aloitti toisen päivän ohjelman puheenvuorollaan "Nuclear energy and its role in Europe's future energy mix". Desbazeille painotti, että uusiutuvien energiantuotantomuotojen rinnalla ydinen energia mahdollistaa matalapäästöisen energiantuotannon Euroopassa.

Tilaisuuden viidessä osassa kuultiin erinomaisia esityksiä sekä kotimaisten että kansainvälisten puhujien näkökulmasta. TVO järjesti omassa osuudessaan paneelikeskustelun nykyisten reaktorien käyttöiän pidentämisestä. Keskustelua veti LUTin Juhani Hyvärinen ja osallistujat edustivat VTT:tä, TEMiä, Framatomea sekä TVO:ta. Fortumin järjestämä paneelikeskustelu ydinlaitosten käytöstäpoistosta päätti ohjelman herättävällä keskustelulla, johon osallistuivat Arthur D. Little, OKG Sweden, EDF ja VTT Anni Jaarisen vetämänä.

Jatkosuunnitelmat ja NNF2021

Nordic Nuclear Forum 2019 tilaisuudelle asetetut tavoitteet saavutettiin hyvin, monin osin ylittäen myös odotukset. Vaikuttavuuden osalta tavoitteet täyttyivät, myös osallistujien lopullinen lukumäärä jopa yllätti.

Seuraavaa Nordic Nuclear Forum tapahtumaa on jo kaavailtu. Ajankohdaksi on suunniteltu kesäkuun 2021 alkua. Ajankohta sydäntalven asemesta on valikoitunut siitä syystä, että Dubain maailmannäyttely, jossa Suomen paviljongissa on ensimmäistä kertaa milloinkaan esillä myös ydinen energia-alan osaaminen, kestää syksystä 2020 kevääseen 2021. Tähän on vielä muutama vuosi aikaa valmistautua, mutta jo nyt kannattaa laittaa uusia ideoita itämään syksyn 2020 suunnittelutyötä varten.

Kirjoittajat kiittävät kaikkia toimikunnan jäseniä ja taustaorganisaatiota onnistuneen tilaisuuden toteuttamisesta. Kiitokset kuuluvat myös kaikille osallistuneille oman kompetensinsa tuomisesta foorumiimme. 

ATS:n vuosikokous järjestettiin Fortumilla

Suomen Atomiteknillisen Seuran vuosikokous järjestettiin ti 5.3.2019 Fortumin pääkonttorin auditoriossa Espoon Keilalahdessa ja siihen osallistui 63 Seuran jäsentä. Vuosikokouksen jälkeen tutkimusprofessori Jaakko Leppänen (VTT) piti esityksen Tšernobylin ydinonnettomuuteen johtaneista syistä ja onnettomuuden seurauksista.

Teksti: Antti Rätty & ATS Ydintekniikan toimitus **Kuva:** Antti Rätty

VUOSIKOKOUS JÄRJESTETTIIN samana päivänä pidetyn YJK16-kurssin (Ydinvoimalaitosten ja ydinjätehuollon kansallinen turvallisuuskurssi) jatkoksi. Tämän arvioitiin lisäävän osallistumisaktiivisuutta vuosikokoukseen, koska kurssin osallistujissa on joka tapauksessa paljon seuran jäseniä. Sääntömääräisinä asioina kokouksessa käsiteltiin seuran toimintakertomus ja tilinpäätös vuodelta 2018 sekä toimintasuunnitelma ja talousarvio vuodelle 2019.

ATS:n toiminta vuonna 2018 ja suunnitelmat vuodelle 2019

Vuosi 2018 kului perinteisten tapahtumien parissa. Jäsenien kokonaismäärä on hieman



FM Antti Rätty
Sihteeri
ATS
sihteeri@ats-fns.fi

kasvanut. Valitettavana seikkana voidaan pitää sitä, että jäseniä on jouduttu poistamaan jäsenrekisteristä maksamattomien jäsenmaksujen vuoksi. Se aiheuttaa Seuran hallinnosta huolehtiville myös ylimääräistä työtä useampien maksumuistutusten muodossa. Jäsenistön toivotaan huolehtivan jäsenmaksuistaan ajallaan ja myös tarkistavan, että mahdollisesti muuttuneet yhteystiedot on ilmoitettu sihteerille.

Tilinpäätöksen tulos jäi suunnitellusti hieman ylijäämäiseksi. Menettelyllä on tarkoitus rahastoida ylijäämiä väli vuosina, jotta seuralla on riittävät varat järjestää Ydintekniikan päivät jatkossa säännöllisesti joka kolmas vuosi.

Vuonna 2019 seuran merkittävin tapahtuma on 30.–31.10. järjestettävä Suomalaisen Ydintekniikan päivät. Tilaisuuteen mahtuu mukaan 250 osallistujaa. Konferenssin kutsua kannustetaan jakamaan laajasti alan organisaatioissa ja halukkaita myös ilmoittautumaan viipymättä, koska osallistujamäärä on rajoitettu. Linkki tapahtuman nettisivuille löytyy ATS:n kotisivuilta ja sinne tullaan myös päivittämään esiintyjä sitä mukaa kuin heiltä saadaan vahvistus osallistumisestaan.

Muuna toimintana järjestään perinteisiä jäsentilaisuuksia iltaseminaareina ja toimintaryhmät (YG, ATS-seniorit ja Women in Nuclear Finland) jatkavat aktiivista toimintaansa.

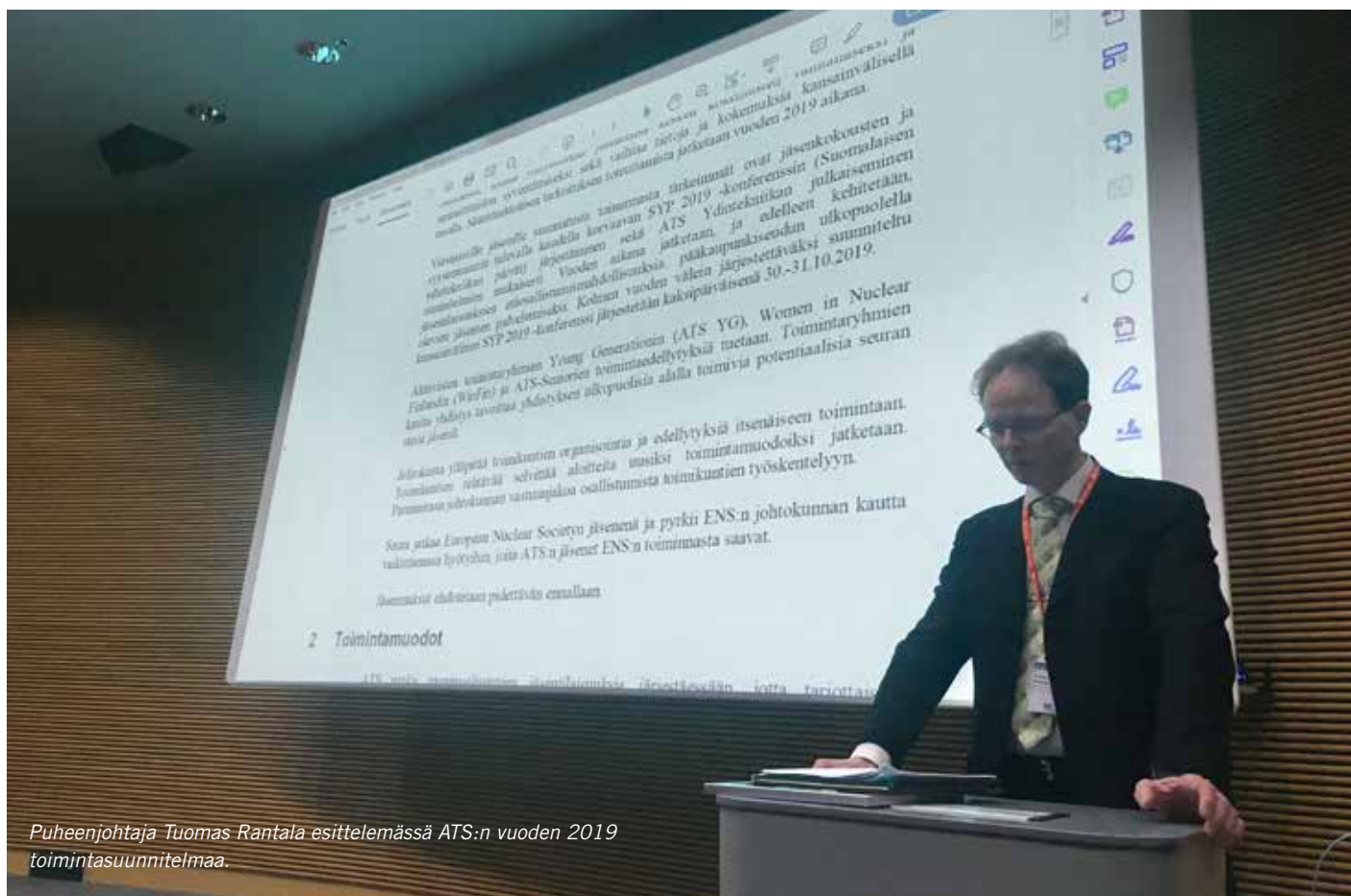
Johtokunnan kokoonpanossa kahden jäsenen sääntömääräiset toimikaudet tulivat täyteen. Uusina jäseninä johtokuntaan valittiin Lauri Rintala (Fennovoima) ja Simo Saarinen (Fortum). Vanhoina jäseninä johtokunnassa

jatkavat edelleen puheenjohtaja Tuomas Rantala (TVO), Antti Rätty (VTT), Pekka Kupiainen (Posiva) ja Vesa Tanskanen (LUT).

Erkki Laurila -palkinnon saanut artikkeli ja vuosikokousesitys vakavista onnettomuuksista

Sääntömääräisten asioiden käsittelyn jälkeen ATS jakoi akateemikko Erkki Laurilan (1914–1999) mukaan nimetyn palkinnon ATS Ydintekniikka -lehden menneen vuoden parhaasta artikkelista. Palkinnon kriteereinä ovat mm. artikkelin selkeys, otsikointi ja kieliasu, asian tieteellinen syvällisyys ja tehdyn taustatyön määrä. Kirjoituksen on oltava suomen- tai ruotsinkielinen. Johtokunta päättää palkinnon saajan toimituskunnan esityksen pohjalta.

Erkki Laurila -palkinto vuoden 2018 parhaasta Ydintekniikka-lehden artikkelista jaettiin Tuomo Sevónille artikkelista ”Mitä uutta tiedetään Fukushimaa”, joka julkaistiin numerossa 3–4/2018. Johtokunta vahvisti toimituksen ehdotuksen kokouksessaan 2/2019 ja päätti palkintosummaksi 500 euroa. Voittanutta artikkelia kuvattiin muun muassa seuraavasti: ”Artikkeli antaa selkeän ja kattavan päivityksen lukijakuntaa paljon kiinnostavasta aiheesta eli Fukushiman reaktoreiden tilanteesta ja miten onnettomuuden etenemistä on tutkittu. Artikkelia varten on tehty laaja taustatyö ja kirjoittaja on perehtynyt aiheeseen. Kieliasultaan artikkeli on moitteeton ja sen kuvat tukevat tekstin sisältöä tehden artikkelista entistä mielenkiintoisemman.”



Puheenjohtaja Tuomas Rantala esittelemässä ATS:n vuoden 2019 toimintasuunnitelmaa.

Jaakko Leppänen (VTT) piti perusteellisen esityksen Tšernobylin ydinonnettomuudesta. Aihe on ajankohtainen, koska YG järjestää keväällä matkan Tšernobylin alueelle, ja alustuksena matkalle haluttiin saada tutkittua tietoa onnettomuudesta. Esityksen sisältö perustui Leppäsen aiempaan kirjoitukseen Fissioreaktori-blogissa, jota hän pitää yhdessä Ville Tulkin kanssa.

Esityksessään Leppänen kuvasi RBMK-reaktorien tekniset toimintaperiaatteet, onnettomuuden kulun ja sen seuraukset. Esitys herätti keskustelua eri lähteissä eri aikakausina esitetyistä onnettomuuden syistä, pitkäkestoisen säteilyaltistuksen terveysvaikutusten arvioinnista sekä vierailuista saman reaktorityypin laitoksilla Ignalinassa ja Sosnovyi Borissa. ☸

Esitys ATS:n kotisivuilla: ats-fns.fi/images/pictures/frontpage/2019/Leppanen.pdf

Fissioreaktori-blogin artikkeli: fissioreaktori.wordpress.com/2018/04/22/tsernobylin-ydinvoimalaonnettomuus



Lauri Rintala

Olen koulutukseltani diplomi-insinööri (teknillinen fysiikka). Olen ollut Fennovoimalla säteilyturvallisuusinsinöörinä vuodesta 2014 lähtien, jota ennen työskentelin Aalto-yliopistolla Rainer Salomaan tutkimusryhmässä. ATS:n toiminnassa olen ollut mukana vuosia sekä YG:ssä että ATS Ydintekniikan toimituksessa. ATS Ydintekniikka on yksi seuran kivijaloista ja pyrin osaltani huolehtimaan siitä että se saadaan jäsenistölle ajallaan laadusta tinkimättä.



Simo Saarinen

Olen koulutukseltani diplomi-insinööri (teknillinen fysiikka). Olen työskennellyt Fortumilla reaktorifysiikan parissa vuodesta 2007 asti, ja nykyisin toimin Reaktorifysiikkaryhmän suunnittelupäällikkönä. ATS:n toiminnan yhtenä tärkeänä osana pidän jäsenistön kannalta mielenkiintoisten tapahtumien järjestämistä. Olen ollut mukana ATS:n YG-toiminnassa viime vuosikymmen loppupuolella.



*Kuva Sevillan Espanjan seminaarista
vuodelta 2015 – kirjoittaja puheen-
johtajien keskellä harmaassa puvussa*

Hommissa Pariisissa

Vuonna 2013 kävin vapaapäivänä salavihkaa Pariisissa haastattelussa, jossa sanoin tuntevani aika huonosti OECD Nuclear Energy Agency (NEA) toimintaa ja periaatteita. Varmaan juuri tästä syystä NEA:n osastojohtaja Javier Reig päätti antaa minulle tilaisuuden perehtyä hänen alaisenaan NEA:n toimiiin turvallisuuden ja ydinalan säännösten alueilla. Niinpä maaliskuussa 2014 aloitin hommani NEA:n Pariisin-toimistossa pienellä Seinen saarella.

Työkulttuuri

Viiden Pariisin-vuoteni aikana on moni asia NEA:ssa muuttunut: syyskuussa 2014 NEA:n 17 vuotta palvellut espanjalainen pääjohtaja Luis E. Echávarri eläköityi. Vuoden 2015 lopussa NEA muutti uuteen toimitaloon Pariisin kylkeen Seine-joen rannalle ja vuoden 2016 alussa turvallisuusosastoni johtaja, espanjalainen herrasmies sekä hyvän ruoan ja juoman ystävä Javier Reig eläköityi NEA:sta 13 vuoden jälkeen. Espanjalaisen pääjohtajan

Luisin tilalle tuli amerikkalainen William IV Magwood. Viime aikoina NEA:n ylempiin tehtäviin on valittu paljon amerikkalaisia ja siellä oppinsa saaneita. Työyhteisön koostuessa eri kulttuureista: ranskalaisista, jenkeistä, korealaisista, japanilaisista, espanjalaisista, italialaisista, ruotsalaisista, kandalaisista, saksalaisista, meksikolaisista ja monista muista, joiden sukujuuret saattavat olla esim. Afrikan tai Aasian maissa, on organisaation toimissa usein hauskoja ominaispiirteitä. Eri kulttuuri-

taustaisten yhteistoimia seurattessa saa hyvän kuvan siitä, miksi asiat joskus monimutkaistuvat kohtuuttomasti.

Amerikkalaisia peesaavien korealaisten ja japanilaisten tuella NEA on voimakkaasti amerikkalaistumassa. Teknisissä asioissa jenkkien hiukan vanhentuneet toimintamallit markkinoidaan usein moderneina ja alan parhaina käytäntöinä, joten tieto lisää tuskaa. NEA:ssa esiintyy ajoittain tarve tarjota ”Amerikan mallia” ratkaisuna myös pienille maille. USA:n resursseja ja lukuisia lain osajia vaativien toimintapojen soveltuvuus muille voidaan usein perustellusti kyseenalaistaa. Onneksi monilla alueilla on mukana esimerkiksi EDF:n toimintatapoja ja tutkimusta, vaikka myös ranskalaisen osaaminen on rapistunut uuden rakentamisen loputtua.

Pariisissa työskennellessä vapaapäivät noudattavat ranskalaista kalenteria ja ranskalaisuus näkyy monessa hallinnollisessa rutiinissa – hyvässä ja pahassa. Mielestäni NEA:n uusi johtamiskulttuuri ja hierarkian korostaminen on johtamassa etäännyttämiseen asiakkaita eli työryhmien jäsenistä. Suurta osaa turhasta byrokratiasta on alettu noudattaa luovimatta siitä ohi. Hierarkisessa työta-

vassa asiaan perehtyminen voi olla pinnallista. Suuret kansainväliset linjaukset voidaan vetää vain tuttujen, omasta maasta kopioitujen toimintatapojen perusteella.

NEA:n työkieli on aina englanti, mutta virallisesti ainakin johtotehtävien haltijoiden tulisi osata ranskaa. Tämä suosii jossain määrin ranskalaisia ja kanadalaisia henkilöstön valinnoissa. Jenkit, japanilaiset ja korealaiset ovat usein saaneet vapautuksen kieliveloitteesta ranskan osalta, kun englantikin on hakusessa. Eurooppalaisten lounaskeskustelut käydään joskus myös ranskaksi, mikä voi vaikeuttaa niihin osallistumista.

Vanhat ranskalaiset perinteet kuten sampanjan juominen pikkupurtavan kera työtoverien läksiäisissä tai juhliittaessa organisaation saavutuksia tekevät työpäivän lopusta juhlan. Ranskalainen rakastaa ruokaa ja omia viinejään kuten italialainen. Tätä kuvaa hyvin taapahtuma muutaman vuoden takaa: NEA:n hallintopuolen ranskalainen rouva ja italialainen herra kävivät meksikolaisen pomonsa hämmästyksiksi muutaman kovaäänisen ja aggressiivisen työpaikkakeskustelun siitä kuinka tunnettu tiramisu-jälkiruoka oikeaoppisesti tehdään. Työtoveriansa iloksi he ratkoivat tasavahvaa kiistaa maistiaisilla kummankin aivan erinomaisista tuotoksista.

NEA:n historia ja tarkoitus

NEA perustettiin vuonna 1958 nimellä European Nuclear Energy Agency, mutta vuonna 1972 USA:n liityttyä nimestä putosi Eurooppa pois. NEA:n nykyiset Euroopassa, Aasiassa sekä Pohjois- ja Etelä-Amerikassa olevat 33 jäsenmaata hallitsevat yhteensä yli 80 % maailman ydinvoiman tuotantokapasiteetista.

NEA:n toimintaperiaate on auttaa jäsenmaitaan ylläpitämään ja edistämään tieteellistä, teknologista ja laillista perustaa ydinenergian rauhanomaiselle, turvalliselle, ympäristöystävälliselle ja taloudelliselle käytölle. Tavoitteisiin pyritään tekemällä ydinenergiaa koskevia selvityksiä hallitusten energiapolitiittisten päätösten pohjaksi ja rakentamalla yhteistä tieteellistä pohjaa ydintekniikan ratkaisuille. NEA:n selvityksiä voidaan käyttää tukemaan OECD:n energiatuotannon analyysijä.

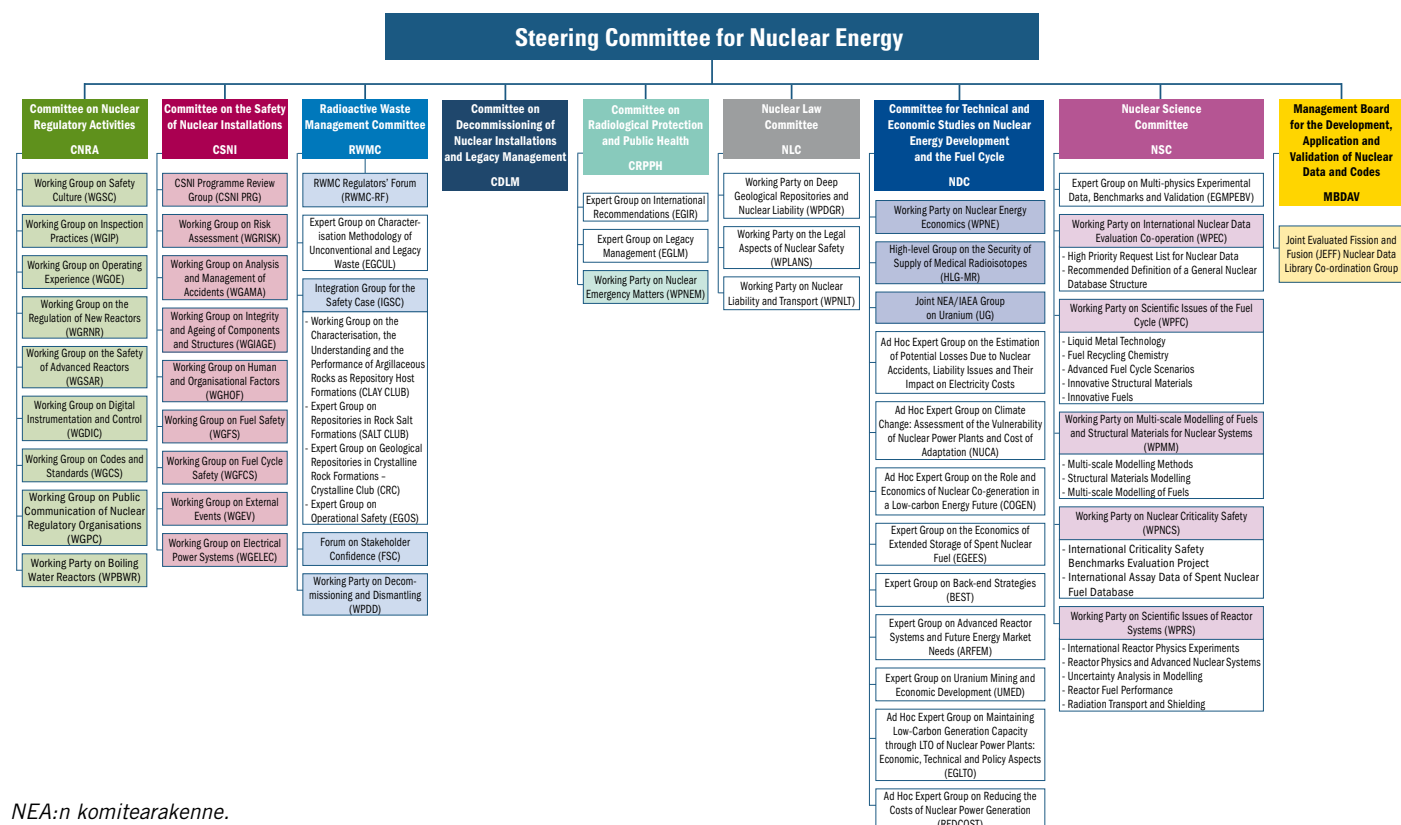
NEA:n pysyvien komiteoiden, toimikuntien ja työryhmien tärkein arvo on niiden lukuisissa toiminnoissa, jotka edistävät yhteistyötä ja tutkimusta ydinalan avainkysymysten ratkaisemiseksi sekä uusien kehityskohteiden tunnistamiseksi. NEA:n tutkimusprojektien hallintorakenne mahdollistaa kustannusten jaon useiden jäsenmaiden kesken tasan, tai niiden kansantuotteen ja ydinvoiman tuotannon mukaisessa suhteessa.

NEA:n toiminta yhteistyökumppaninsa IAEA:n edelläkävijänä on vaikeutunut, kun kehittyneiden maiden ydinalan osaaminen taantuu. Resurssien hiipuminen vie pohjaa NEA:n kehittyneiden maiden kyvyltä tehdä asia paremmin ja toimia mallina IAEA:n toimille. Vahvat eurooppalaiset toimijat kuten Saksa luopuvat ydinvoimasta ja monet ydinalan tutkimuksen uudishankkeet sekä ennen kaikkea laitosrakentaminen on siirtynyt kehittyviin maihin. Usein NEA ja IAEA tekevät osallistujiansa tuella samaa tutkimusta ja saavat rinnakkaisia tuloksia.

NEA:n komiteat ja työryhmät

NEA:lla on yhteensä kahdeksan komiteaa, joiden roolit ja työtavat poikkeavat hiukan toisistaan. NEA:n rahoitus tulee jäsenmailta niiden talouden koon ja ydinvoiman tuotantoon määrittämisen kustannusjaon mukaan. Budjettia ja sitä kautta koko NEA:n toimintaa ohjaa ohjausryhmä (Steering Committee), jonka alla on kahdeksan komiteaa.

NEA:n kahdeksassa komiteassa istuvat maiden viralliset edustajat. Komiteoiden alla toimii 60–70 erilaista enemmän tai vähemmän pysyvää asiantuntijatyöryhmää ja näiden työryhmien alla on edelleen lukuisia määräaikaisille aktiviteeteille ja projekteille perustettuja



NEA:n komitearakenne.



ohjausryhmiä. Näihin kukin jäsenmaa lähettää asiantuntijoita ydintekniikan eri osa-alueilta. Maiden edustajat ovat pääosin viranomais- ja tutkimusorganisaatioista, mutta joukossa on myös voimayhtiöiden, esimerkiksi ranskalaisen EDF:n ja suomalaisen Fortumin edustajia. Työni NEA:ssa on pääosin edellisen sivun kaavion vasemman laidan kahden komitean alueella: Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI) ja Committee on Nuclear Regulatory Activities (CNRA).

Alueeni vanhemman kansainvälistä turvallisuustutkimusta yhdistelevän komitean CSNI:n rooli on vakiintunut ja melkoisen selkeä. CSNI:n rooliksi voi lyhyesti määritellä ydinturvallisuuteen ja -tekniikkaan liittyvän tutkimuksen edistäminen. CSNI:n jäseninä ovat viranomaisen ja viranomaista avustavien tutkimusorganisaatioiden edustajat. Muutama valtiollinen voimayhtiö kuten Ruotsin Vattenfall ja Ranskan EDF on edustettuna. Työryhmien aktiviteetit kestävät tyypillisesti 2–4 vuotta ja niiden tulosteissa kuvataan esimerkiksi: jäsenmaiden tutkimustoiminnan uusimpia tuloksia, turvallisuusohjeiston ja jäsenmaiden toimintamallien vertailuja, yhteisiä laskentamallien toimivuuden analyyseja, koetulosten tai laitostapahtumien mallinnuksen tai analy-

soinnin vertailuja, tai järjestetyn konferenssin tuottamia johtopäätöksiä. Raporteissa pyritään antamaan kansainvälisiä suosituksia siitä kuinka jäsenmaat yhdessä tai erikseen voivat kehittää edelleen ydinvoiman turvallisuutta. NEA ei kirjoita ohjeita, se on jätetty IAEA:lle.

Toinen komitea, jonka kanssa olen teke misissä on CNRA, jonka toiminta kohdistuu tekniikkaan ja ihmisen toimintaan liittyviin ydinlaitosten asioihin säännöstön, luvituksen ja tarkastuksen alueilla. Tällä CNRA-puolella työmuodot ja esimerkiksi raporttien laadun varmentamien hakee vielä muotoaan. CNRA:n puheenjohtajana toimii nykyisin Suomen viranomaisen STUK:in pääjohtaja Petteri Tiippana. Vuosina 2015–2017 hän oli NEA:n MDEP-ryhmän (Multinational Design Evaluation Programme) puheenjohtaja. CNRA:n jäseninä ovat ydinturvallisuusviranomaiset, joten työ painottuu viranomaisten menettelytapoihin. Nuo menettelyt ovat eri maissa ovat hiukan erilaisia ja ne kaikki ovat maailman parhaita. Niinpä myös CNRA:n työtapojen harmonisointi ja tehostus on hidasta, eikä siihen usein edes pyritä.

NEA:n turvallisuusosasto tukee myös jäsenmaiden erikseen rahoittamaa, uusien laitosten suunnittelua ja viranomaishyväksyn-

Vasemmalla: Kuva Kanadasta yhteisviikatapah-tumia keräävän NEA:n ICDE-projektin kokouksesta syksyllä 2018 – kirjoittaja keskellä sinisessä puvussa.

Yhteisesti rahoitetut ja muutaman vuoden kestäviin vaiheisiin jaetut tutkimusprojektit ovat kustannustehokkain osa NEA:n toimintaa. Toimintamalli edellyttää osallistujien yhteistä tahtoa rahoittaa hanke ja jakaa tietoa yhdessä samoilla ehtoilla. Kustannusten jaolla ja projektien yhteisellä valvonnalla varmistetaan tulosten todellinen hyödyllisyys useille jäsenmaille. Tosin laadunvalvonnan tärkeyttä voisi painottaa enemmän NEA:n projektien hallinnoinnissa.

Omat tehtäväni

Työni on toimia teknisenä sihteerinä erilaisissa kokouksissa ja työryhmissä. Heti alkuun otimme muutaman juuri aloittaneen työkaaverini kanssa tehtäväksi selvittää, selvittää ja yhtenäistää NEA:n toimintaa vastuualueillamme. Olimme havainneet toiminnan hiukan sekavaksi ja hajanaiseksi – tosin eräät kollegani pitivät toimintapojen laajaa kirjoa ja huonoa ennustettavuutta vahvuutena – jokaiselle jotakin periaatteella. Meksikolaisen kollegani sanoi: ”Se miten näkee elämän tason Pariisissa ja arvottaa NEA:n toiminnan tason riippuu täysin lähtötasosta mihin on kotimaassaan tottunut”. Saavutimmekin tuloksia ja toiminta tehostui. Ulos ne näkyvät niin, että NEA:n verkkosivut ja toimintamallit ovat kehittyneet. Lisäksi NEA:n tutkimus- ja tietokantaprojekteilla on nyt yhteiset toimintatavat ja yhteinen sopimusmalli. Valitettavasti samaan aikaan NEA:n julkaisujen laiskahko hyväksyntäprosessi sai lisäviivettä uusien sisältöjen tarkastusprosessien myötä.

NEA:n hommissa työryhmän ja projektin sihteerillä on vapaus valita haluaako hän perehtyä teknisiin yksityiskohtiin ja varmentaa raporttien ja kokouskeskustelujen teknistä taustaa. Sihteerin voi vain välittää tietoa ja kysymyksiä osapuolten välillä, tai myös ehdottaa hiottuja ratkaisuja ja malleja teknisiin kysymyksiin. Olen kuitenkin huomannut, että joskus sihteerin aktiiviset ehdotukset ja tarkennukset koetaan rasitteeksi, etenkin jos matkustelun ohella tarvitaan myös muiden työtä. Matkustaminen kokouksiin on iso osa teknisen sihteerin työtä ja vierailu kolmessa maanosassa saman viikon aikana voi osua kohdalle.

Elämä Pariisissa

Asunnon vuokraaminen, kalusteiden tilaaminen, paikallisen puhelinliittymän ja internet-yhteyden hankkiminen on Ranskassa kauniisti sanoen yhtä seikkailua. Asuminen suurkaupungissa sisältää aina vaaroja ja yllätyksiä eikä

Pariisi tee poikkeusta. Asuminen Pariisissa paljasti sen, että vuosikymmenien takainen romantiikkaa ja väriä tuova taiteilijakirjo erikoisine tapoineen ja huikeine maalaustaitoineen on lähes kadonnut Pariisin kujilta, siltojen katveesta ja Sacre Courin kukkulan aukiolta.

Lauantaisin Seinen sillat täyttyvät Eiffel-tornia vasten kuvattavista hääpareista ja ”selvitetä” ottavasta nuorisosta. Pariisi on yhtäaikaan kiehtova ja likainen sekä usein liian täynnä ihmisiä ja autoja, ja täynnä elämää. Parasta Pariisia ovat katukahvilat ja terassit monine antimineen sekä mahtavan laadun kala-, liha- ja leipäkaupat monine anteineen sekä monenmoiset museot ja näyttelyt. Kaupat ja terassit ovat täynnä sesongin vilinää läpi vuoden iloisesta kesästä tummiin pukeutuneiden pariisilaisten vihaamaan harmaaseen, mutta lyhyeen talveen.

Seinen rannat illan valoineen ja varjoneen ovat aina elämys Eiffel-tornin valojen välkyessä niiden yllä valkoisena tai sen hetken värikirjolla. ”Purple Rain” -legenda Princen poismeno värjäsi tornin valot muutaman tunnin ajaksi sinipunaisiksi ja salaperäisen Dawid Bowien lähtö tuotti torniin vaaleanpunaisia sävyjä. Ranskalaiset osaavat kunnioittaa poismenneitä taiteen, musiikin ja urheilun suuruuksia. Heidän elämäntyönsä täyttää ajoittain tiedotusvälineet. Mahtavat musiikkia ja valoja yhdistelevät valonäytökset Eiffelin tai Riemukaaren pintoihin ovat jotain todella näkemisen arvoista. Musiikin tai muun kulttuurin alueen suuruuden hautajaiset voivat hiljentää koko Pariisin, ja kerätä koko Ranskan sivistyneistön ja poliittisen eliitin arkuun äärelle. Tosin esimerkiksi juuri edesmenneen Matti Nykäsen elämää suurempien, suomalaisten filosofoiden ymmärtäminen voisi olla ranskalaiselle ylivoimaista.

Ranskan suurkaupunkien kaduille ja Pariisin perinteeseen kuuluvat myös lakkoilijat ja mielenosoittajat. Suomalainen maaseudun työmiehen ja työtön menee lauantaana saunaan, ranskalainen osoittaa mieltä.

Olli Nevander

tää harmonisoivaa MDEP-ryhmää. MDEP:in valvonnassa kokoontuu joukko erityistyöryhmiä. Yhteen laitosyppiin keskittyvät työryhmät ovat tarkastelleet mm. VVER, ABWR, EPR, APR1400, HPR1000 and AP1000-laitostyyppien suunnittelua ja yleiset MDEP-ryhmät ovat tarkastelleet mm. digitaalista automaatiota sekä viranomaisohjeistoa yleensä. Yleisiä MDEP-työryhmiä ollaan nyt siirtämässä pääosaltaan CNRA:n alaisuuteen.

NEA:n projektit

NEA:n toimintaan kuuluvat myös jäsenmaiden yhdessä käynnistämät ja rahoittamat tutkimusprojektit. Niitä on suuria kuten 50 miljoonan vuosibudjetilla norjalaista tutkimusreaktoria hallinnoiva ja käytävä Halden-projekti tai pieniä projekteja, joissa rahoitetaan muutamia tieteellisiä kokeita jossain jäsenmaassa tai simuloidaan ja analysoidaan tietokonemalleilla reaktorien käyttäytymistä Fukushima onnettomuuden aikana. Tällä hetkellä NEA:ssa pyörii noin 20 tällaista projektia. Kymmenien päättyneiden projektien tuottama tieto ja mitausdata on tallennettu NEA:n tietopankkiin, josta se saadaan tarvittaessa jäsenmaiden käyttöön uusissa tutkimushankkeissa.

Nuclear energy in France – Status and perspectives

2018 has been a busy year for the French nuclear industry: reorganization of the whole sector, significant progress of the EPR program (in China, Finland, France and the UK) and the announcement of the energy strategy in France for the coming years. The following article will give an overview of the French nuclear industry status and perspective for the years to come.

Text: Pierre-Yves Cordier, Antoine Martin **Figures:** CEA, France

FRANCE LAUNCHED ITS nuclear program right after World War II, with the creation of the French Atomic Energy Commission or CEA on 18th of October, 1945. Its goal was to conduct R&D in the nuclear area, for scientific and defense purposes.

A large nuclear program, a strong industry, an important R&D capacity

Let us fast forward more than 70 years, and CEA is still here, although now it stands for Alternative and Atomic Energy Commission. It is a world class R&D organization, with a workforce of 17,000, active in the field of defense and security, nuclear and renewable energy,

technology research for industry and fundamental research.

France is also an industrial nuclear powerhouse, with well know companies such as EDF (largest nuclear operator in the world), Framatome and ORANO (formerly AREVA). Nowadays, nuclear is France's 3rd industrial sector, with 220,000 employees and 2600 companies involved.

The French nuclear fleet is composed of 58 reactors spread into 19 nuclear power plants for a total installed capacity of 63,130 MW. This mix consists of 34 reactors of 900 MW, 20 reactors of 1300 MW and 4 reactors of 1450 MW, connected to the grid between 1977 and 1999. As an average, nuclear elec-

tricity generation represents around 75% of the total French electricity production.

France also masters the whole nuclear fuel cycle, with uranium enrichment (Georges Besse II plant, started in 2010) and conversion (Philippe Coste plant, started in 2018) facilities, spent fuel reprocessing plant in La Hague (the largest in the world), and Melox plant to produce MOX fuel composed of uranium and plutonium, thus closing effectively the fuel cycle on an industrial scale.

For R&D purposes, CEA is currently building the Jules Horowitz Reactor (JHR) in Cadarache in the south of France. When it is operational, it will be the most modern and versatile material test reactor in the world, able to study materials and their behavior under irradiation in support of actual and future nuclear reactors. It will also provide radioelements for nuclear medicine. The reactor involves more than 10 international partners through the JHR International Consortium, with VTT as a member representing interested parties in Finland, providing an important in-kind contribution for the future experiments.

To manage nuclear wastes, the CIGEO deep geological storage project is under way in order to store safely the high level vitrified waste.

The French nuclear companies are also involved in international projects and offer acknowledged expertise in all the fields of nuclear energy. In addition to the EPR under construction in Flamanville (scheduled to be operational in 2020, shortly after the one in Olkiluoto), there are currently projects in different countries, like India (in Jaitapur) and Saudi-Arabia, where it has been short-listed in the tender process.

The support of France for the nuclear sector is strong. The French government and the nuclear industries signed on 28th of January 2019 a strategic contract which defines commitments to help the nuclear sector. Those commitments focus on 4 major areas: employment, skills and training; digitalization; R&D and ecological transition; and international market.

A renewed commitment to decarbonize the energy consumption

This important nuclear electricity production, combined with hydro and renewable energy, allows France to have more than 90% of its electricity production without emitting CO₂. Based on these achievements, France decided to go further and to decarbonize even



Pierre-Yves Cordier

Nuclear Counsellor for the UK and the Nordic Countries
Embassy of France in the UK



Antoine Martin

Deputy Nuclear Adviser for Finland
Embassy of France in Finland
antoine.martin@diplomatie.gouv.fr



Jules Horowitz Reactor in December 2018.

more its energy consumption in the framework of the COP21 Agreement.

On 27th of November 2018, the French President introduced his proposal for a Multi-annual Energy Plan (MEP) which defines the French energy policy until 2028. This document was crafted through a national debate which involved all stakeholders of the energy sector: unions, industries, associations and consumers.

The ambition is clear: fight against climate change and reach carbon neutrality by 2050. To reach this ambitious target, the French society needs to decarbonize itself while keeping its energy security, yet at a reasonable cost. This decarbonization will be achieved by acting on all possible levels.


First, through a reduction of 40% by 2030 of the use of fossil fuel in transport and heating, for example by closing permanently the last four coal-fired power plants by 2022. Second, by decreasing energy consumption through energy efficiency, renovation of old

buildings, and a strong impulse given to electric and low emission vehicles. And third, by diversifying the energy mix with the increase of renewables energies with a target of +50% of installed capacity in 2023 and +100% in 2028. The share of electricity production of renewables will increase from 19% nowadays to 40% by 2028. In parallel, the share of nuclear electricity production will decrease from 75% to 50% in 2035. In order to reach this goal, the plan is to close 14 operating reactors by 2035.

Those shutdowns will occur taking into account different conditions: energy security, reasonable price of electricity and stability of the electricity mix margins. The first NPP to be closed is Fessenheim NPP, located near the French-German border. The production of electricity is planned to be stopped in 2020. Four other reactors should be shut down by 2028 and after this date, one reactor per year should be closed (two in 2033) to reach the number of 14 reactors closed in 2035.

The reactors to be shut down will be chosen by the operator EDF among the oldest of the fleet, and most will have reached 50 years of operation by that time. No nuclear site will be completely closed to ensure the security of energy supply in the whole French territory.

In parallel, the construction of new reactors will be studied. EDF will submit a proposal to the government in 2021, for a possible decision around 2022 to relaunch construction of new reactors.

The MAEP does not represent an exit from the nuclear energy but a change of balance between nuclear and renewable energies for the electricity production. France will keep on supporting the nuclear sector, which represents strength for its economy, usage of advanced technology, and an essential part to fight the climate change. 



University of Helsinki Radiochemistry Unit Employees, October 2018 (photo: Susan Heikkinen).

Developments at the University of Helsinki Radiochemistry Unit

Gareth Law was appointed as Professor of Radiochemistry at the University of Helsinki in late 2018. He now takes control of the University's Radiochemistry Unit, which is housed in the Department of Chemistry.



Dr. Gareth Law
Professor of Radiochemistry
Helsinki University
gareth.law@helsinki.fi

Text: Gareth Law

IN JUNE 2018, Prof. Jukka Lehto retired from his position as University of Helsinki Professor of Radiochemistry and Head of the University's Radiochemistry Unit. He has now taken up an Emeritus role at the University and is still research active. Everyone at the Unit wishes him well in his retirement and we thank him for his many years of excellent leadership.

After an international search, I was chosen to be Lehto's successor. I joined the University of Helsinki's Department of Chemistry on September 2nd 2018, and was inaugurated as the University Professor in Radiochemistry on December 5th. I was previously a Senior Lecturer and Research Team Leader at the University of Manchester's Centre for Radio-



Dr Will Bower surveying roadside dust samples for Cesium-rich Microparticles in the Fukushima Daiichi Nuclear Exclusion zone.

chemistry Research. Several members of my Manchester group also made the decision to move to Finland. Dr William Bower has started as a University Researcher and is the group's senior experimentalist. Connaugh Fallon, Mallory Ho, Joyce Wee Lin Ang, and Kathleen Doig are all undertaking PhD studies at Helsinki. We all look forward to working in Finland and building new collaborations across the Finnish nuclear industry and with its regulators. The group also still has strong links back to the UK, with a number of pro-

jects still running and group members finishing PhDs at Manchester.

Background, Research Interests, and Motivations for moving to Finland

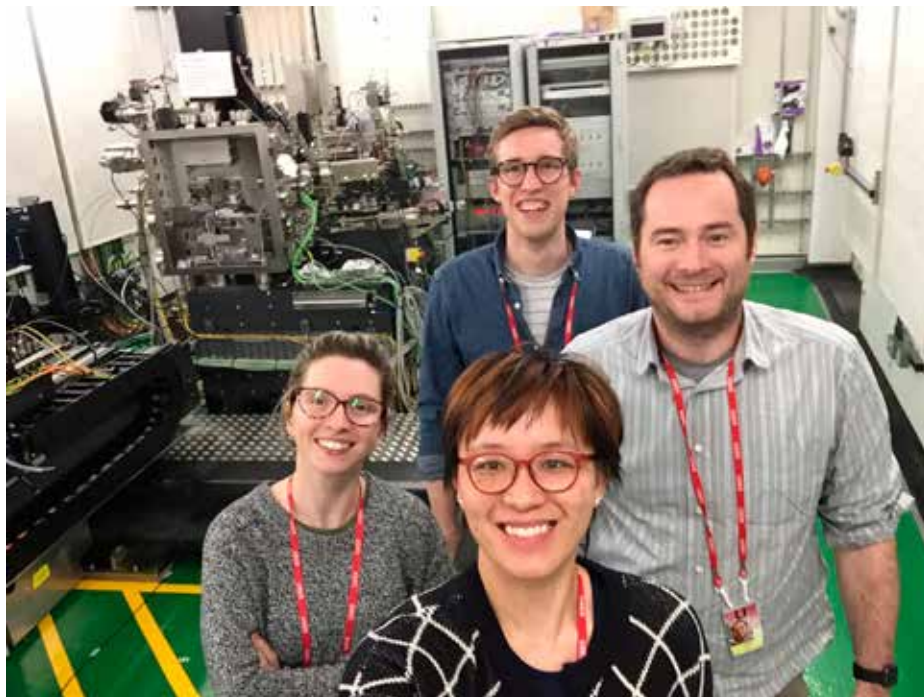
My interests in radiochemistry and the nuclear fuel cycle started at an early age. Just before my fifth birthday, Chernobyl made the news headlines. The Chernobyl accident and its impacts on the UK nuclear industry were often topics of national debate. Then, during

my BSc. (hons) studies at the University of Edinburgh, lectures on the long-term management of UK radioactive wastes cemented my interests; I was hooked on becoming a radiochemist. A PhD on metal and radionuclide geochemistry and two post-doctoral research positions in radioactive waste management followed. I finally attained my first independent academic position at the University of Manchester in 2011, becoming Lecturer, and then Senior Lecturer (2016) in Analytical Radiochemistry. At Manchester I managed a large research group and was grateful to receive funding from the UK research councils and industry (e.g., AWE Ltd., Sellafield Ltd., and the UK National Nuclear Laboratory).

My group's research interests are diverse; however, our science is almost always applied to issues in the nuclear industry, and our central goal is to better define radionuclide reaction and fate in materials by pioneering the use of state-of-the-art analytical techniques. In particular, we make use of synchrotron-based spectroscopies, secondary isotope mass spectrometry, and electron microscopy. In recent years we have applied these techniques to issues in environmental radiochemistry, completing projects on NORM (Naturally Occurring Radioactive Material) issues, nuclear site management (in particular, developing techniques for contaminated land management), and nuclear accident impacts. We also conduct research relevant to nuclear waste disposal (in particular for low, intermediate, and operating wastes), nuclear decommissioning (with an emphasis on material characterisation and decontamination techniques), and nuclear forensics. Looking to the group's future in Finland, we see NORM issues, radioactive waste management, nuclear forensics, and decommissioning as our key target areas.

Since arriving in Finland many people have asked us "why make the move?". We would be lying if we said Brexit wasn't an important motivating factor for leaving the UK (after all, the best science requires close international collaboration). However, Finland's can-do

Law research group members Connaugh Fallon, Mallory Ho, and William Bower trialling the new hard X-ray nanoprobe at the UK Diamond Lightsource for Radioactive sample analysis (photo: Mallory Ho).



attitude and expertise in spent fuel disposal, combined with its excellent research infrastructure, presented an opportunity too good to pass up. The countries impending decommissioning tasks and new nuclear build also present exciting areas for future research.


Radiochemistry Research and Education at the University of Helsinki

The Radiochemistry Unit is part of the University of Helsinki's Department of Chemistry. It is the largest University-based radiochemistry research and education facility in Finland, is presently home to ~40 radiochemistry researchers, and has a long and storied history. The Unit's research currently includes blue skies investigations and applied research that helps to address the needs of the nuclear industry, radiopharmacy, environmental science, and analytical chemistry. My research group's interests complement and add to the Unit's existing research portfolio, which includes expertise in the development of novel ion exchange technologies for radioactive waste treatment (Principal Investigator: Dr Risto Koivula); radioactive waste geological disposal research (Principal Investigator: Dr Marja Siitari-Kauppi); radiopharmaceutical chemistry (Principal Investigator: Prof.

Anu Airaksinen), radioecology (Principal Investigator: Dr Susanna Salminen Paatero), and microbiology and biosphere research (Principal Investigator: Dr Merja Lusa). As we move to the future we are seeking to strengthen our capabilities in these areas, augment our analytical infrastructure, strengthen existing national and international collaborations, and foster new relationships. Recent highlights include the 0.5 M Euro upgrade of the Unit's in-house Cyclotron, and the forging of a new relationship with the Singapore National Nuclear Safety Institute, which will see Singaporean student's come to Helsinki for PhD studies.

Providing Radiochemistry education is also a key task of the Radiochemistry Unit. At present there is a well-documented lack of graduates in radiochemistry and a real need for trained personnel in the nuclear industry. Indeed, headlines about radiochemistry being a dying subject do not make for easy reading. To help address this problem, the Unit presently delivers a wide range of radiochemistry courses to Masters-level Chemistry students at the University of Helsinki. Those students have the option to specialise in Radiochemistry and graduate with an NRC accredited EuroMaster in Radiochemistry. The Unit also trains a number of national and international radiochemis-

try PhD students, who enrol on the University of Helsinki CHEMS doctoral programme. Moving to the future we hope to expand our radiochemistry education portfolio, and expand collaborative teaching in this area with national and international colleagues. Online, "remote" radiochemistry education is also an exciting area that Finnish Higher Education Institutes could exploit in the coming years.

More detail concerning our research and teaching activities can be found on the Unit's website: www.helsinki.fi/radiochemistry. 

KYT2018-tutkimusohjelma päättyi – Sisällölliset tulokset lyhyesti

Kari Rasilainen, Aku Itälä
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

KYT2018-tutkimusohjelma (Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma) toteutettiin vuosina 2015–2018. Nyt on mahdollista vetää yhteen tutkimuskausi sisällöllisesti. Artikkelissa selvitetään mitä tutkimuskaudella on tutkittu ja mitkä ovat pääasialliset tulokset. Erikseen pohditaan vuonna 2017 toteutetun tutkimusohjelman kansainvälisen arvion johtopäätöksiä ja suosituksia.

KYT2018 research programme (Finnish Research Programme on Nuclear Waste Management) was realized in 2015–2018. Now it is possible to summarise the actual contents of the research period. In this article we report what has been studied during the research period and what are the main results. Specific attention is given to the international review in 2017 and to its observations and recommendations.

Mitä on tutkittu?

Kansallisen tutkimusohjelman kiinnostuksen kohteet ovat johdettavissa kolmesta päälähteestä: (1) ydinjätehuollon kansallisten toimijoiden tutkimustarpeet, (2) ydinenergia-alan kansallinen tutkimusstrategia ja (3) KYT2018-ohjelman edeltäjän KYT2014-ohjelman kansainvälinen arvio suosituksineen. KYT2018-ohjelman keskeiset tutkimusaihepiirit ovat Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus, Ydinjätehuollon teknologiat ja Ydinjätehuolto ja yhteiskunta (kuva 1).

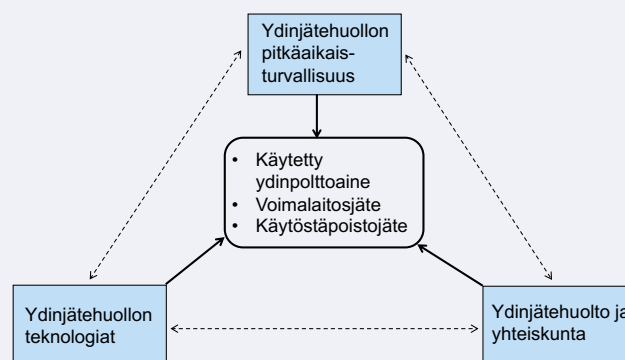
Ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus on jaettu osiin: turvallisuusperustelu, puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky, kapselin toimintakyky, mikrobiologian vaikutukset ja muut turvallisuustutkimukset. Näistä neljä ensin mainittua on arvioitu erityisen keskeisiksi ja niissä tutkimusta on toteutettu useiden tutkimuslaitosten yhteisvoimin erityisinä koordinoituna hankkeina. Muut turvallisuustutkimukset on edelleen jaettu seuraaviin osiin: nuklidikulkeutuminen, kallioperä, biosfääri ja geopolymeerit.

Tutkimuskaudella Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) ohjasi rahaa KYT2018-ohjelmaan noin 11,6 miljoonaa euroa. Vuonna 2016 mukaan tulleet VTT:n Ydinturvallisuustalon rahoitusjärjestelyt muuttivat hankehaut 3-osaisiksi (kaikille avoin haku ja kaksi vain VTT:lle suunnattua infrahakua). Kaikille avoimiin hakuihin (tutkimushankkeiden, infrastruktuurihankkeiden ja täydennyskoulutuksen aihepiireissä) ohjattiin rahoitusta yhteensä noin 7,5 miljoonaa euroa. Täydennyskoulutushankkeita ei ollut tutkimuskaudella. Rahoituksen jakautuminen eri aiheisiin tutkimuskaudella on esitetty kuvassa 2.

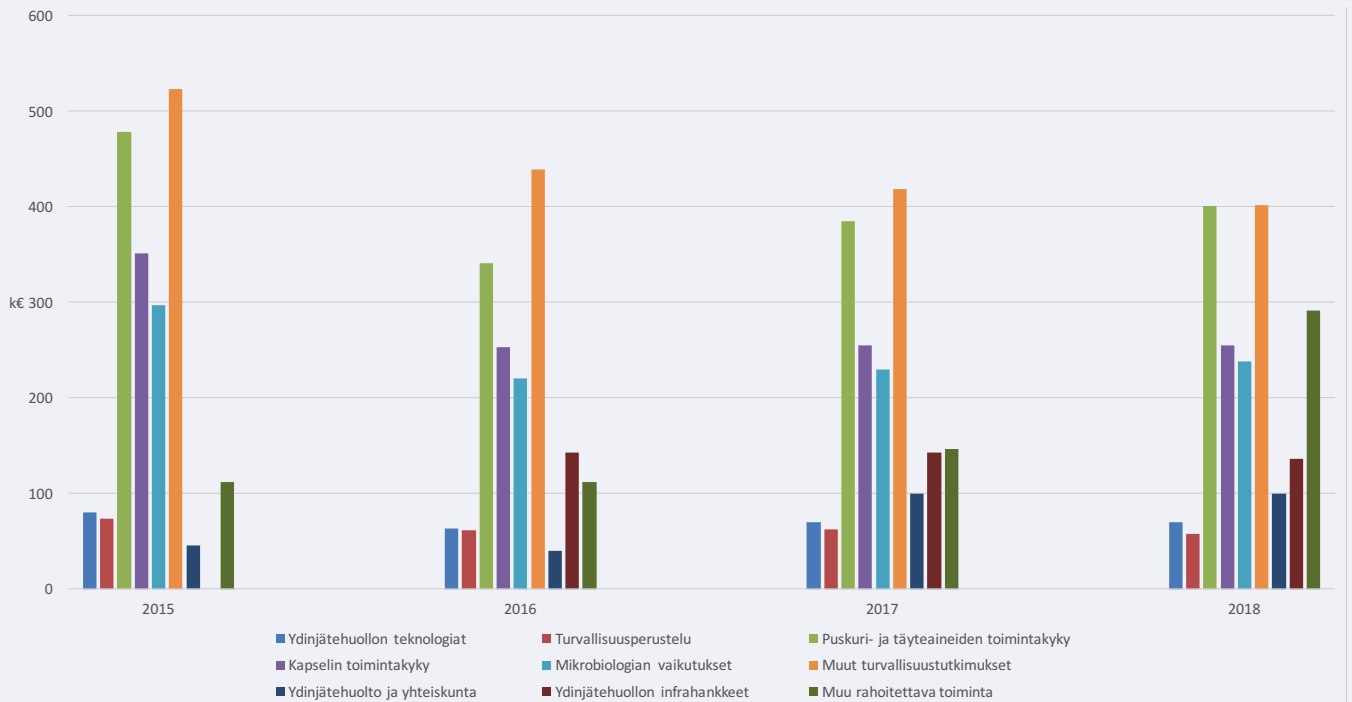
Tutkimusohjelman laajuus vuositasona oli 26 henkilötyövuotta, tutkimusprojekteja oli luokkaa 30. Vuosittain tutkimus- ja infrahankkei-

siin ohjattiin rahoitusta n. 3 milj. euroa, joista n. 1,9 milj. euroa Valtion ydinjätehuoltotarahastolta. VYR-rahoituksen lisäksi tutkimuslaitokset ohjasivat tutkimushankkeisiin myös omaa rahoitusta, yhteensä luokkaa 1 milj. euroa vuodessa.

Tutkimuskaudella on ollut käynnissä yhteensä 32 tutkimus- ja infrahanketta. Tutkimushankkeet ovat ensisijaisesti liittyneet ydinjätehuollon turvallisuuden arviointiin. Aihepiirissä Ydinjätehuollon teknologiat on ollut kolme hanketta, aihepiirissä Ydinjätehuolto ja yhteiskunta on



Kuva 1. KYT2018-ohjelman tutkimusaiheet vaikuttavat asiallisesti toisiinsa [1].



Kuva 2. VYR-rahoituksen jakautuminen aihepiireittäin 2015–2018 [2].

ollut yksi hanke ja aihepiirissä Ydinjätehuollon infrahankkeet on ollut yksi hanke (vuosina 2016–2018).

KYT2018-tutkimusohjelmassa ovat olleet mukana seuraavat tutkimusorganisaatiot: VTT, Aalto-yliopisto, Helsingin yliopisto, Geologian tutkimuskeskus, Jyväskylän yliopisto, Itä-Suomen yliopisto, Numerola Oy, Tampereen teknillinen yliopisto ja Tampereen yliopisto. Nyttemmin Tampereen teknillinen yliopisto ja Tampereen yliopisto on yhdistetty uudeksi Tampereen yliopistoksi.

Pääasialliset tulokset

Julkaisut ovat akateeminen tapa mitata tutkimusohjelman tuottavuutta. KYT2018-ohjelma tuotti neljän vuoden aikana yhteensä 71 arvojulkaisua (tieteellistä vertaisarvioitua lehtiartikkelia), 215 konferenssijulkaisua tai työraporttia, sekä 36 opinnäytetyötä (taulukko 1).

Opinnäytetöistä 12 oli tohtorinväitöskirjoja, joista neljä kohdistui aihepiiriin Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky, yksi aihepiiriin Kapselin toimintakyky, yksi aihepiiriin Mikrobiologian vaikutukset ja kuusi aihepiiriin Muut turvallisuustutkimukset. Aihepiiriin Muut turvallisuustutkimukset väitöskirjoista kaksi kohdistui nuklidikulkeutumiseen, kolme kallioperään ja yksi biosfääriin. Väitöstyöt ovat aina pitkäjänteisiä ja ainakin osa työstä on aloitettu jo ennen KYT2018-ohjelman tutkimuskautta ja niissä voi myös olla muita panostuksia KYT2018-ohjelman ulkopuolelta. Vastaavasti KYT2018-tutkimuskaudella viimeistellyn kolmen väitöstyön hyväksyminen on siirtynyt vuoteen 2019 (aihepiireissä Ydinjätehuollon teknologiat, Turvallisuusperustelu ja Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky).

Asiantuntemuksen ylläpito ydinjätehuollon alalla on määritelty yh-

deksi tutkimusohjelman keskeiseksi tavoitteeksi; KYT2018 vastaa ylläpidosta omalta osaltaan. Taulukon 1 mukaisesti opinnäytetöiden lukumäärällä mitattuna toiminta on ollut varsin tuloksekasta, mutta asiantuntemuksen ylläpito ja kehittäminen on myös tarkoittanut uusien osaamisten hankkimista alalla jo toimiville kokeneille asiantuntijoille.

Seminaarit ovat yksi tapa toteuttaa tiedonvaihtoa tutkimusohjelman sisällä ja myös ulkomaailman kanssa. KYT2018-tutkimusohjelmassa järjestettiin tutkimuskaudella yhteensä 13 seminaaria (taulukko 2). Tutkimusohjelman aihepiirejä käsiteltiin yhdeksässä temaattisessa seminaarissa. Tutkimusohjelmaa ja kaikkia sen aihepiirejä sekä tutkimushankkeita käsiteltiin ohjelmakauden puolivälissä ja lopussa järjestetyissä seminaareissa. KYT2018-ohjelman puiteohjelman esittelyseminaari järjestettiin ennen tutkimusohjelman ensimmäistä hankkehakua. Vastaavasti järjestettiin KYT2022-puiteohjelmaluonnoksen esittelyseminaari yhdessä KYT2022-ohjelman kanssa.

KYT2018-ohjelman loppuseminaari pidettiin Finlandiatolassa 29.1. 2019; seminaariin osallistui 100 Suomen eturivin asiantuntijaa tutkimuslaitoksista, yliopistoista, viranomaisorganisaatioista, ydinvoima- ja ydinjäteyhtiöistä sekä näiden alihankkijoista (kuva 3).

Loppuseminaarin, kuten kaikkien muidenkin seminaarien esitykset ovat nähtävissä tutkimusohjelman verkkosivulla (<http://kyt2018.vtt.fi/>).

Tutkimusinfrastruktuurin kehittäminen ydinjätehuollon aihepiiriin tuli mukaan KYT2018-ohjelmaan kesken tutkimuskauden vuonna 2016. Tutkimusohjelman infrahanke liittyi VTT:n Ydinturvallisuustalon rakentamiseen. Ydinturvallisuustalon laboratoriot luovutettiin VTT:lle 2016 ja talo otettiin käyttöön 2017. Aloittamisensa jälkeen infrahankkeen rahoitusosuus tutkimusohjelmassa oli noin 8%. Infrahankkeen

Taulukko 1.
KYT2018-ohjelman julkaisut aihepiireittäin 2015–2018 [2].

Julkaisut aihepiireittäin/kpl	Arvo- julkaisut	Konferenssi- julkaisut ja työraportit	Opin- näytteet
Ydinjätehuollon teknologiat	2	19	-
Turvallisuusperustelu	1	5	-
Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky	11	27	9
Kapselin toimintakyky	17	38	3
Mikrobiologian vaikutukset	16	37	4
Muut turvallisuustutkimukset	20	42	19
Ydinjätehuolto ja yhteiskunta	4	33	1
Ydinjätehuollon infrahankeet	-	11	-
Muu rahoitettava toiminta	-	3	-
Yhteensä	71	215	36

Taulukko 2.
KYT2018-tutkimusohjelman seminaarit (muokattu lähteestä [2]).

Seminaarin aihe	Aika	Paikka
KYT2018-puiteohjelmaluonnoksen esittely	22.8.2014	STUK, Helsinki
Kallioperän rikkonaisuuden mallinnus	3.12.2015	GTK, Espoo
Kuparin korroosio, 1. seminaari	15.12.2016	Aalto-yliopisto, Espoo
Bentoniittitutkimus, 2. workshop	16.12.2016	VTT, Espoo
Ohjelmakauden puoliväliseminaari	7.4.2017	Finlandiatalo, Helsinki
Ydinjätehuollon yhteiskunnallinen hyväksyttävyyttä	6.10.2017	TEM, Helsinki
Kuparin korroosio, 2. seminaari	2.11.2017	Aalto-yliopisto, Espoo
Bentoniittitutkimus, 3. workshop	8.11.2017	Aalto-yliopisto, Espoo
Kalliorakojen numeerinen mallinnus	1.12.2017	GTK, Espoo
Ydinjätteen loppusijoituksen mikrobiologia	24.4.2018	VTT, Espoo
KYT2022-puiteohjelmaluonnoksen esittely	20.8.2018	VTT, Espoo
Ydinjätehuollon sosiaalinen toimilupa	10.10.2018	VTT Espoo
Ohjelmakauden päätösseminaari	29.1.2019	Finlandia-talo, Helsinki

kautta on voitu suunnitelmallisesti ja pitkäjänteisesti rakentaa uuteen laboratorion kokonaisuuteen ydinjätetutkimukselle ajantasainen kokeellinen laitteisto. Ydinturvallisuustalo on merkittävä kansallisen tason investointi kokeelliseen ydinjätetutkimukseen: sen laitteisto on koko ydinjäteyhteisön yhteisesti käytettävissä.

Kansainvälinen arvio 2017

Tutkimusohjelman kansainvälinen arviointi toteutettiin 31.5.–1.6.2017 Helsingissä. Arviointiryhmä kävi läpi tutkimusohjelman asiakirjoja ja haastatteli tutkimusohjelman organisaatiota, tutkimushankkeiden projektipäälliköitä ja muita avainhenkilöitä. Arviointiryhmä kokosi työnsä tuloksena arviointiraportin, josta on julkaistu erillinen raportti työ- ja elinkeinoministeriön julkaisusarjassa (<http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/>).

Arvioinnin mukaan KYT2018-tutkimusohjelmalla on kattava ja syvävälinen osaaminen ydinjätehuollosta ja tutkimusohjelman hallinto on toteutettu tehokkaasti. Tutkimusohjelman tukiryhmät ovat luoneet aktiivisen kansallisen tutkimusyhteisön ja tutkimusohjelma edistää keskustelua viranomaisten, ydinjätehuollon vastuorganisaatioiden ja tutkijoiden välillä.

Arvioinnin mukaan KYT2018-tutkimusohjelman tutkimusaiheet on kuitenkin rajattu liian tiukasti vain viranomaisia hyödyttäväksi ja tutkimus on eriytynyt liiaksi muusta Suomessa toteutettavasta ydinjätehuollon tutkimuksesta. Arviointiryhmä näki tarpeelliseksi vahvistaa tutkimusohjelman tieteellistä ohjausta ja kohdistaa tutkimusta tarkemmin vielä avoinna oleviin haasteisiin. VTT:n Ydinturvallisuustalon infrastruktuurin hyödyntäminen nähtiin hyödylliseksi sekä tutkimuslaitteiden että tutkimusyhteisön näkökulmasta ja samalla talon hyödynnettävyyttä

nähtiin myös lähivuosien haasteena. Arviointiryhmä totesi, että tutkimushankkeiden rahoituksen leikkaukset tutkimusohjelman aikana olivat hankaloittaneet tutkimuksen tekemistä. Myös tutkimusrahoituksen myöntäminen vain vuoden jaksoissa ja vasta tutkimusvuoden maaliskuussa todettiin haasteeksi.

KYT2018-tutkimusohjelman johtoryhmä kävi arvioinnin tulokset läpi syksyllä 2017 ja totesi, että haasteet ja suositukset on tarkoituksenmukaista käsitellä uuden KYT2022-tutkimusohjelman suunnitteluryhmässä. Uudessa KYT2022-tutkimusohjelman puiteohjelmassa tutkimusohjelman aihealuetta on laajennettu hyödyttämään viranomaisten lisäksi myös toiminnanharjoittajia ja heidän toteuttamaansa ydinjätehuollon tutkimusta. Tutkimuksen tieteellisen ohjauksen tärkeyttä on korostettu tutkimustyön hyödynnettävyyden lisäämiseksi. Rahoituksen kehittämiseen liittyviä haasteita on käsitelty TEM:ssä ja kehitystyö jatkuu KYT2022-ohjelman aikana. Uudistusten vaikutusten arviointi on mahdollista vasta muutamien vuosien kuluttua.

Työ jatkuu...

Vuonna 1989 käynnistetty jatkumo koordinoituja julkisia tutkimusohjelmia ydinjätehuollon alalta saa jatkoa. Uusi 4-vuotinen KYT2022-tutkimusohjelma on jo käynnissä ajantasaistetuina tavoittein. Itsenäisten ydinjätehuollon tutkimusohjelmien tarina päättyy vuoden 2022 jälkeen, kun julkiset ydinjätehuollon ja reaktoriturvallisuuden tutkimusohjelmat (KYT ja SAFIR vastaavasti) on tarkoitus yhdistää. Yhdistämällä haetaan synergiaetuja osaamisen kehittämisessä ja ylläpidossa sekä laajempien kokonaisuuksien ja rajapintojen hallinnassa. Ydinjätehuollon tutkimustarve ei yhdistämisessä häviä minnekään.



Kuva 3. Ryhmäkuva KYT2018-ohjelman loppuseminaarista.

Viitteet

- [1] [1] Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2018 – Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2015–2018. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu, Energia ja Ilmasto, 43/2014. ISSN 1797-3562. 41 p. Saatavilla: http://kyt2018.vtt.fi/docs/TEMjul_43_2014_web_17102014.pdf
- [2] [2] Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2018 – Loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu, Energia, 2019:20. ISSN 1797-3562. 166 p. Saatavilla: <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/>

KYT2018-ohjelman kotisivut löytyvät osoitteesta: <http://kyt2018.vtt.fi/>. Siellä ovat myös linkit tutkimusohjelman puiteohjelmaan, kansainväliseen arviointiraporttiin ja loppuraporttiin. Kotisivuilla on myös pääsy seminaarien aineistoihin.

Kirjoittajat



TKT Kari Rasilainen
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
Johtava tutkija, KYT2018-tutkimusohjelman koordinaattori
kari.rasilainen@vtt.fi



FT Aku Itälä
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
Tutkija
aku.itala@vtt.fi

Väitös: Positroniannihilaatiospektroskopia ja sen potentialiaali ydinmateriaalitutkimuksessa

Janne Heikinheimo
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Jo pieni määrä atomitason hilavirheitä voi vaikuttaa merkittävästi eri materiaalien fysikaalisiin ominaisuuksiin, kuten lämmönjohtavuuteen, atomien diffuusion kiteessä tai korroosionopeuteen. Positroniannihilaatiospektroskopia on yksi sensitiivisimmistä mittausten menetelmistä atomitason vakanssityyppeille hilavirheille. Tämän väitöstyön puitteissa tehtiin alustavaa kehitystyötä korkeampiaktiivisten materiaalien mittaamista varten, tutkittiin ilmaisimista aiheutuvaa virhettä mittaauksissa sekä sovellettiin menetelmää kahdessa kansainvälisessä tutkimusprojektissa, jotka käsitelivät zirkoniumin hapettumista painevesireaktorissa ja volframin säteilyvaurioiden korjaantumista.

Already a small number of atomic-size crystallographic defects can have a significant effect on materials physical properties, such as thermal conductivity, atomic diffusion or corrosion layer growth. Positron annihilation spectroscopy is one of the most sensitive atomic-size vacancy characterization methods. This dissertation includes a preliminary work for the high-radioactive material measurements, research of the errors in the measurements caused by gamma detectors, and two international projects where the oxidation of zirconium in PWR conditions and radiation damage recovery in tungsten were studied.

Tämä väitöstyö keskittyy joihinkin positroniannihilaatiospektroskopian (PAS) ominaisuuksiin, joista voi aiheutua muutoksia lopullisiin mitaustuloksiin. PAS-menetelmiä sovelletaan myös kahdessa kansainvälisessä projektissa. Tämä väitöstyö pyrkii vastaamaan muun muassa seuraaviin kysymyksiin: Kuinka aktiivisia materiaaleja voidaan mitata? Mitä mittaauksissa pitää huomioida, että tulokset ovat riittävän hyviä? Minkälaisiin ydinmateriaaleihin liittyviin tutkimuksiin PAS-menetelmiä on mielekästä soveltaa?

Pistevirheet ydinmateriaaleissa, mikä niissä kiinnostaa?

Kiteisessä materiaalissa pistevirheet ovat pienimpiä mahdollisia atomitason virheitä. Esimerkiksi monovakanssi, jossa säännöllisestä hilarakenteesta puuttuu yksi atomi, on pistevirhe. PAS-menetelmien vahvuus on erityisesti pienten, atomien suuruusluokkaa olevien hilavirheiden karakterisointi. Tähän liittyen on tärkeää kysyä, miksi pistevirheistä ylipäättään tulisi olla kiinnostunut ydinmateriaaleissa. Onko pienillä atomitason virheillä väliä, kun materiaalit altistetaan äärimmäisille olosuhteille reaktorissa?

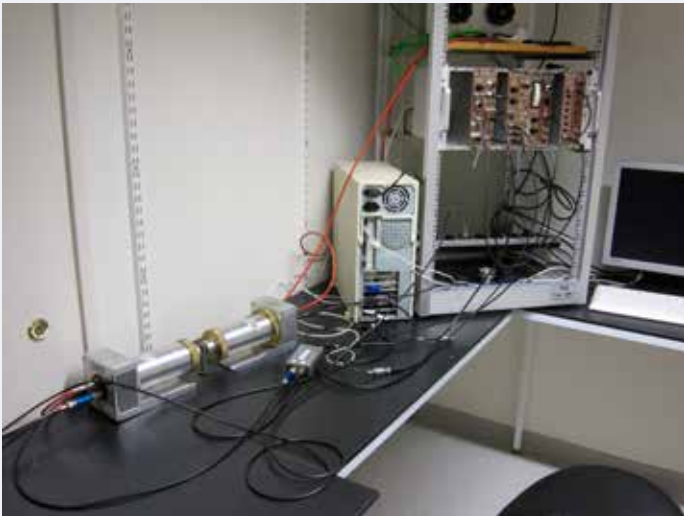
Ensisijainen huolenaihe reaktorimateriaaleille on niiden kestävyys ja eheys korkeassa lämpötilassa ja korkeilla säteilyannoksilla. Pieni määrä pistevirheitä ei vielä vaikuta oleellisesti esimerkiksi materiaalin kestävyuteen, mutta usein materiaalin muutokset ja makroskooppiset virheet saavat alkunsa pistevirheistä, jotka klusterioituvat ja siten muodostavat isompia pistevirheitä. Enenevässä määrin nämä lopulta

näkyvät makroskooppisina virheinä. Pistevirheitä syntyy esimerkiksi säteilytyksen seurauksena. Jotta makroskooppisten virheiden syntyä ja kehitystä pystyisi ymmärtämään tarkasti, täytyy tuntea mahdollisimman hyvin pistevirheiden syntymekanismi, rekombinaatio, migraatio, klusterioituminen, ja niin edelleen.

Zirkoniumia ja sen seoksia käytetään ydinvoimalan polttoaineen suojausmateriaalina ja volframi on yksi lupaava kandidaatti fuusiovoimalan diverttorimateriaaliksi. Väitöstyö käsittelee näihin materiaaleihin ja pistevirheisiin liittyviä kysymyksiä. Keskeisinä tutkimuskysymyksinä onkin, miten pistevirheet vaikuttavat zirkoniumin hapettumisnopeuteen reaktoriolosuhteissa ja kuinka säteilykestävä volframi on tai kuinka säteilyvaurio kehittyä volframissa.

Positroniannihilaatiospektroskopia

Positroni on elektronin antihiukkanen, jolla on sama massa kuin elektronilla mutta positiivinen varaus. Positroni syntyy muun muassa β^+ -hajoamisen seurauksena. Positroni annihiloituu lyhyen ajan kuluessa elektronin kanssa (tyypillisesti 100–300 ps kiteisessä materiaalissa). Nämä kaksi muuttuvat kahdeksi tai kolmeksi korkeaenergieiseksi gammafotoniksi. PAS-menetelmillä mitataan positronin annihilaatioparametreja, kuten sen elinaikaa tai sitten annihilaatiogammafotonien Doppler-siirtymää. Näitä parametreja mittaavat kaksi eniten käytettyä positroniannihilaatiospektroskopiaa, elinaikaspektroskopia ja Doppler-levenemäspektroskopia, joita tutkittiin ja sovellettiin myös tässä väitöstyössä.



Kuva 1. Positronien elinaikalaitteistossa näyte-lähde-paketti on asetettu kahden ilmaisimen väliin. Toisella ilmaisimella mitataan positronin syntyhetki ja toisella positronin annihilaatiohetki.

Kuvassa 1 on elinaikaspektroskopialaitteisto, jossa toinen tuikeilmaisim mitta positiironin syntyhetken ja toinen annihilaatiohetken. Positronilähde (Na-22) on puristettu kahden näytteen väliin ja tämä paketti on asetettu ilmaisinten väliin. Kuvassa 2 on Doppler-levenemälaitteisto, jossa Na-22-lähteestä emittoituvat positronit ensin hidastetaan ja sitten kiihdytetään haluttuun kineettiseen energiaan ennen näytteeseen osumista. Menetelmien herkkyys pistevirheiden karakterisoinnissa seuraa positronien loukkuuntumisesta pieniin hilavirheisiin ennen annihiloitumistaan, mistä aiheutuu muutosta annihilaatioparametreihin.

Positroniannihilaatiospektroskopian historiaa

Dirac julkaisi ensimmäisenä teorian elektronista, jolla on positiivinen varaus vuonna 1928 [1]. Vuonna 1932 Anderson julkaisi ensimmäiset sumukammiokokkeet, joissa havaitaan positroni [2]. Ensimmäisiä positroniannihilaatiomittauksia tehtiin vuonna 1942 [3], mutta positronin loukkuuntuminen hilavirheisiin havaittiin vasta 1960-luvun lopulla [4]. Pekka Jauho ja Teuvo Kohonen aloittivat kokeellisen positroniannihilaatiotutkimuksen Teknillisessä korkeakoulussa (myöh. Aalto-yliopisto) 1950-luvun lopulla. Kaksikomponentti-DFT:n (Tiheysfunktionaaliteoria) formulointi esiteltiin ensimmäisenä Suomessa 1986 [5], ja sitä käytetään edelleen positronitilojen laskennassa kiteisessä materiaalissa [6]. Nykyään PAS-menetelmiä sovelletaan laajasti erilaisissa materiaalitutkimuksissa, metalleista pehmeään aineeseen.

Tämän väitöskirjan puitteissa aloitettu kehitystyö elinaikaspektroskopian säteilytoleranssin kasvattamiseksi on yksi esimerkki siitä, kuinka positroniannihilaatiospektroskopian sovellettavuutta voidaan edelleen laajentaa.

Gammalmaisimien tärkeydestä

Elinaikaspektroskopiasa käytetään perinteisesti kahta ilmaisinta, joista toisella mitataan positronin syntyhetki (yleensä Na-22-hajoamisesta) ja toisella annihilaatiotapahtuman ajanhetki. Elinaikamittauksissa käytetyillä ilmaisimilla on vaikutusta erityisesti mittauksen aikaresoluutioon. Usein efektiivisemmästä ilmaisimesta aiheutuu enemmän epämääräisyyttä ajanhetken määrittämiseen. Positronilähteen aktiivisuudesta aiheutuva spektritausta on kuitenkin ilmaisimista riippumaton (kahden ilmaisi-



Kuva 2. Doppler-levenemälaitteisto, jossa käytetään hitaita positroneja. Ensin positronit hidastetaan, sitten kiihdytetään haluttuun kineettiseen energiaan ja ohjataan näytteeseen. Positroni annihiloituu näytteessä elektronin kanssa ja tästä tapahtumasta mitataan annihilaatiogammafotonin Doppler-siirtymä. Yhden ilmaisimen tapauksessa vain yksi tapahtuman annihilaatiogammafotoneista voidaan havaita.

men tapauksessa). Tämän lisäksi tutkittavien näytteiden aktiivisuus lisää taustaa elinaikaspektriin, mikä huonontaa elinaikakomponenttianalyysin tulosten tarkkuutta. Väitöstyön puitteissa tutkittiin näytteiden aktiivisuuden vaikutuksia elinaikamittauksiin, ja sitä miten paljon ylimääräisen koinsidenssi-ilmaisimen lisääminen voisi parantaa mittaustaitteiston säteilytoleranssia. Tulokseksi saatiin, että näytteiden aktiivisuutta voitaisiin kasvattaa arviolta 50-kertaiseksi tai lähteen aktiivisuutta 10-kertaiseksi, jos käytettäisiin kolmen ilmaisimen koinsidenssia. Tällöin yhdellä ilmaisimella havaittaisiin positronin syntyhetken liittyvä tytärytimen viritystilan purkautuminen ja kahdella muulla annihilaatiogammafotonit.

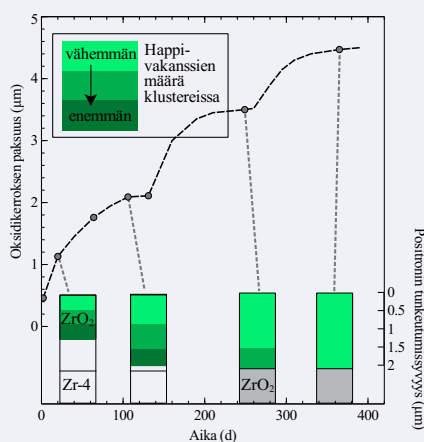
Yleisesti Doppler-levenemäspektroskopiasa halutaan mitata mahdollisimman hyvällä energioresoluutiolla, että levenemäspektristä erottuisi mahdollisimman tarkkoja yksityiskohtia. Nämä yksityiskohtat vastaavat elektronien liikemääräjakamaa annihilaatiopaikassa, koska positronit pääasiassa termalisoituvat ennen annihiloitumistaan. Doppler-levenemäspektroskopiasa ilmaisimen energioresoluution muutos muuttaa heti annihilaatiogammafotonien Doppler-levenemäspektrin muotoa. Väitöstyössä tutkittiin sitä, miten mittaustaitteometria ilmaisimen ja annihilaatiolähteen välillä voi muuttaa tuloksia. Systemaattiset

kokeet paljastivat, että sekä lähteen etäisyys ilmaisimesta että lähteen ja ilmaisimen väliin asetettava materiaali (teräs) voivat muuttaa Doppler-levenemätuloksia. Tähän selityksenä on ilmaisimeen päätyvien gammafotonien absorptiogeometrian muutokset ja huonompi energioresoluutio ilmaisinkiteen ulomilla pinnoilla.

Kaksi esimerkkiä sovelluskohteista

Väitöskirjassa tutkittiin zirkoniumin (tai tarkemmin Zircaloy-4:n) hapettumista painevesireaktoria vastaavissa olosuhteissa. Projektissa tutkittiin yhteistyössä>NNL:n (National Nuclear Laboratory, Iso-Britannia) kanssa pistevirheiden muutoksia eri paksuisissa oksidikerroksissa. Tutkimuksessa käytettiin Doppler-levenemäspektroskopiaa ja kaksikomponentti-DFT-laskuja. Menetelmä ei ole sensitiivinen yksittäisille happivakansseille, mutta sen sijaan happivakanssien määrää voitiin seurata zirkonium-happi-vakanssiklustereissa. Happivakansseja oli kaikissa näytteissä enemmän oksidi-metalli-rajapinnalla kuin oksidin vapaalla pinnalla. Lisäksi hilavirheet muuttuivat lähellä oksidin vapaata pintaa, kun oksidikerroksen paksuus kasvoi. Kuva 3 havainnollistaa kokeiden ja laskujen avulla päätettyä happivakanssien kehittymistä zirkoniumin eri paksuisissa oksidikerroksissa. Happivakanssien jakautuminen ja evoluutio oksidikerroksessa tarjoaa osaltaan selityksen muun muassa zirkoniumin syklistä hapettumisnopeudelle, hapen kulkeutumiselle oksidi-metalli-rajapinnalle ja nanometrikokoisten huokosten synnyille ikääntyneessä oksidikerroksessa.

Toisessa väitöskirjan sovellusprojektissa seurattiin monovakanssien toipumista ja evoluutiota volframissa. Vakanssit synnytetään säteilyttämällä volframinäytteitä 10 MeV protonilla 35 K:ssä Helsingin yliopiston kiihdytinlaboratoriossa ja niiden toipumista seurattiin säteilytyslaitteistoon liitetyllä elinaikapektroskopiolla. Koska positronispektroskopia



Kuva 3. Happivakanssien määrä zirkonium-happi-vakanssiklustereissa Zircaloy-4-näytteiden oksidikerroksissa. Näytteet oli hapetettu painevesireaktoria vastaavissa olosuhteissa. Tulokset saatiin vertailemalla Doppler-levenemäspektroskopi tuloksia ja DFT-laskuja.

ovat herkkiä nimenomaan monovakansseille, pystyttiin kokeista määrittämään migraatiotajat välisija-atomeille ja monovakansseille. Muilla kokeellisilla menetelmillä on vaikeata ellei mahdotonta havaita tarkasti yhtä pientä määrää (< 1 ppm) monovakansseja kuin positroneilla. Sikäli tämä tutkimus tarjoaa tärkeän vertailukohtan laskennallisille tuloksille ja malleille.

Positroniannihilaatiospektroskopian tulevaisuus ydinmateriaalitutkimuksessa

Onko positroniannihilaatiospektroskopiolla tulevaisuutta ydinmateriaalitutkimuksessa vai onko kaikki kiinnostava jo tutkittu? On selvää, ettei kaikkea kiinnostavaa ole vielä tutkittu, kun ottaa huomioon viimeaikaisen kehitystyön polttoaine- ja suojakuorimateriaalien kanssa, joihin kuuluu muun muassa pinnoitetut suojakuoret ja doupatut polttoaineet. Näiden lisäksi myös perinteisissä polttoaine- ja suojakuorimateriaaleissa riittää tutkittavaa. Erityisesti haasteena on implementoida erilliskokeissa havaitut materiaalin mikrokooppiset ominaisuudet makroskooppisia ilmiöitä mallintaviin polttoainekoodeihin. Positroniannihilaatiospektroskopiolla voidaan kaivautua syvälle mikrokooppisiin ilmiöihin, ja järkevällä koesuunnittelulla niillä on varmasti vielä tulevaisuudessakin sanansa sanottavana ydinmateriaalien fysiikalisten ja kemiallisten ominaisuuksien ymmärtämisen lisäämisessä.

Väitöskirja Applications of positron annihilation spectroscopy in nuclear materials research (Positroniannihilaatiospektroskopian sovelluksia ydinmateriaalitutkimuksessa) tarkastettiin 26.1.2018 Aalto-yliopistossa. Vastaväittäjänä toimi professori Pär Olsson (KTH Royal Institute of Technology, Ruotsi) ja kustoksena toimi professori Filip Tuomisto Aalto-yliopistosta. Väitöskirja on saatavilla sähköisessä muodossa osoitteessa <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-7722-2>.

Viitteet

- [1] P. A. M. Dirac, The quantum theory of the electron, Proceedings of the Royal Society A., 117(778):610-624, 1928.
- [2] C. D. Anderson, The Positive Electron, Physical Review, 43(6):491-494, 1933.
- [3] R. Beringer and C. G. Montgomery, The Angular Distribution of Positron Annihilation Radiation, Physical Review, 61(5-6):222-224, 1942.
- [4] I. K. MacKenzie, T. L. Khoo, A. B. McDonald, and B. T. A. McKee, Temperature Dependence of Positron Mean Lives in Metals, Physical Review Letters, 19, 946, 1967.
- [5] E. Boroński and R. M. Nieminen, Electron-positron density-functional theory, Physical Review B, 34(6):3820-3831, 1986.
- [6] F. Tuomisto and I. Makkonen, Defect identification in semiconductors with positron annihilation: Experiment and theory, Reviews of Modern Physics, 85(4):1583-1631, 2013.

Kirjoittaja



TKT Janne Heikinheimo
Tutkija

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
janne.heikinheimo@vtt.fi

Palautusosoite:

Suomen Atomiteknillinen Seura
PL 78
02151 ESPOO



ATS

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

KANNATUSJÄSENET

A-Insinöörit Civil Oy

**Pohjoismainen
Ydinvaruutuspooli**

TVO Nuclear Services Oy

Fennovoima Oy

Pohjolan Voima Oyj

Voimaosakeyhtiö SF Oy

FinNuclear ry

Posiva Oy

Wärtsilä Projects Oy

**Fortum Power
and Heat Oy**

**Teknologian
tutkimuskeskus VTT Oy**

Westinghouse

Platom Oy

Teollisuuden Voima Oyj