

ATTS

3|2016

Vol. 45

YDINTEKNIikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

IAEA:n ydin- materiaalivalvonta

Osaston johto suomalaiskäsissä: vuosina 2005–2010 Olli Heinonen ja vuodesta 2013 alkaen Tero Varjoranta.

Serpent Monte Carlo -reaktorifysiikkakoodi

VTT:llä kehitetyllä ohjelmalla on nykyisin 550 käyttäjää 37 maassa.

Kansalliset tutkimus- ohjelmat SAFIR2018 ja KYT2018

Uudet ydinvoimaluvat ja -projektit vaativat osaamista ja tietoa, jota kehitetään näissä ohjelmissa.



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

DI Tuomas Rantala
tuomas.rantala@tvo.fi

Sihteeri / Secretary General

DI Henri Loukusa
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Lauri Pyy
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

Jäsenet / Board Members

FL Lasse Koskinen
lasse.koskinen@posiva.fi

DI Toivo Kivirinta
toivo.kivirinta@fortum.com

DI Antti Paajanen
antti.paajanen@fennovoima.fi

Toimihenkilöt / Functionaries

ATS Young Generation

DI Mikko Pihlanko
mikko.pihlanko@fortum.com

Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

DI Henri Ormus
henri.ormus@fennovoima.fi

Energiakanava / Energy Channel, WiN Finland

TkT Liisa Heikinheimo
liisa.heikinheimo@tvo.fi

www.vastaava / Webmaster

TkT Heikki Suikkanen
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

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

TkT Vesa-Matti Tikkala
vesa-matti.tikkala@fortum.com

TkT Risto Vanhanen
risto.vanhanen@iki.fi

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 yhdyssteinä 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.

Vakiopalstat

Pääkirjoitus: Suomalaisen ydinenergian menestystarina 4

Editorial: The Finnish nuclear energy success story 5

Päätoimittajalta: Juhlahlehden teemana ydintekniikan menestystarinat 6

Kolumni: Suomalaisen ydinvoiman paluu 74

Tapahtumat

NUGENIA+-projektin loppuseminaari järjestettiin Helsingissä 7

Eurajoen kesän parhaita: ATS YG Summer Symposium 10

Ajankohtaista

Anneli Nikula – radiokemististä viestinnän vaikuttajaksi 12

 ATS:n uudet kunniajäsenet 14

SYP: Tentative program 17

Ydinenergia-alan koulutustuulia 18

STUKin tehtävät säteily- ja ydinturvallisuutta valvovana viranomaisena 21

Posivan palveluliiketoiminta käyntiin 24

Ydinvoiman kilpailukyky murenee Euroopassa 26

Suomen suurin savotta 30

Olkiluoto 3:n käyttölupahakemus 32

Osaajat: IAEA – tekninen järjestö palvelemaan poliittisia tarkoituksia 36

Osaajat: Abu Dhabin monikulttuurinen ydinvoimaprojekti 38

Osaajat: Globaalin turvallisuuden keskiössä 40

Tiede ja tekniikka

The VTT Centre for Nuclear Safety, up-grading Finnish nuclear safety research 42

 Wade Karlsen

Lappeenrannassa keitetty vettä ja lauhdutettu höyryä ydinturvallisuuden nimissä jo 1970-luvun puolivälistä alkaen 46

 Heikki Purhonen ja Virpi Kouhia

KYT2018-tutkimusohjelma – kyllä ydinjäte tunnetaan 51

 Kari Rasilainen ja Aku Itälä

 KYT-ohjelmassa on vahvistettu Posivan oman tutkimuksen tulkintoja 53

Uudistunut SAFIR2018-ohjelma 55

 Jari Hämäläinen

 TVOn turvallisuuden varmistamisen agendalla SAFIR2018 ohjelma 56

 Fennovoima & SAFIR 58

 SAFIR-ohjelman hyödyt voimayhtiölle 58

Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio (HYRL) 60

 Jukka Lehto

NURES@ – Menestystarina Loviisasta Fukushimaan 62

 Esko Tusa

Serpent Monte Carlo -reaktorifysiikkakoodin kehitys 65

 Jaakko Leppänen

Fuusioreaktorista uuden tekniikan soveltamiseen 70

 Timo Määttä ja Pertti Pale



HYVINVOINTIA
YDINSÄHKÖLLÄ

Suomalaisen ydinenergian menestystarina



YDINENERGIAA on käytetty maassamme jo kohta puolivuosisataa. Nykymaailmassa viisikymppinen on henkilö parhaassa iässään. Viimeisen kymmenen vuoden aikana ydinvoima on noussut valtakunnan yhdeksi yhteiskunnalliseksi ykkösaiheeksi. Myös alalla toimijat ovat varmasti kukin kokeneet, millaisessa murrosvaiheessa toimiala on.

Palataan kuitenkin ensin takaisin suomalaisen ydinvoiman käytön alkuaikoihin. Innostus oli kova, ja pioneerihenkeä ja tarmoa riitti. Kaikesta tästä huolimatta tekijät ymmärsivät, miten vastuullisten asioiden kanssa ollaan tekemisissä. Kenties siihen aikaan oli jopa kunnioitusta uutta ja tuntematonta säteilyä ja radioaktiivisuutta kohtaan. Niin tai näin, alusta alkaen korkea turvallisuus nousi suomalaisen ydinvoiman käytön peruspilariksi. Nykyään asia on vankasti kirjattu ydinenergialakiinkin:

ydinenergian käytön pitää olla turvallista, ja se ei saa aiheuttaa eikä siitä saa aiheutua vahinkoa ihmisille, ympäristölle tai omaisuudelle. Tähän peruspilariin on helppo nojata tänään ja tulevaisuudessakin.

Turvallisuutta valvoo Säteilyturvakeskus. Maailmalla suomalainen turvallisuusvalvonta on saanut leiman, että täällä ei lepsuillen lupia myönnetä. Jos pärjää lisensoinnissa Suomessa, niin pärjää missä vain. Myös kansalaiset uskovat STUKin asiantuntijoiden osaamiseen. Taannoin STUKin väen osaamiseen luotettiin enemmän kuin poliisiin. Se on paljon se.

Jätehuoltoon on meillä suhtauduttu jo vuosikymmeniä vastuullisesti. 1980-luvulla tehtiin kauaskantoiset päätökset ydinjätepolitiikan osalta: vastataan itse omista ydinjätteistä. Aikoinaan strategiaan kuului myös se, että seurataan alan huippumaita, jotka siihen aikaan olivat jätehuollon kehittämisessä selkeästi Suomea edellä. Tänä päivänä olemme maailman edelläkävijä käytetyn polttoaineen jätehuollossa. Posivan viime vuoden marraskuussa saama kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupa on ensimmäinen laatuaan maailmassa. Tästä voi olla jopa hie-man ylpeä. Heti perään pitää todeta, että nöyrä työnteko turvallisen loppusijoitusratkaisun saavuttamiseksi jatkuu.

Suomalainen ydinvoimaosaaminen on ollut Suomen valtteja, niin kansallisesti kuin kansainvälisestikin tarkasteltuna. Loviisan ja Olkiluodon laitosten rakentamisen aikoina osaamista kertyi paljon, ja samoin nyt Posivan loppusijoitushankkeen aikana on uutta jätte-osaamista karttunut alan toimijoille. Jotta voimme jatkaa ydinenergian menestyksellistä käyttöä maassamme, on varmistettava, että osaaminen on kunnossa vastakin.

Osaamisen kehittämisessä tutkimuksella on tärkeä rooli. Meillä on lukuisia esimerkke-

jä, jossa tutkimuksen ja tuotekehityksen kautta on kasvatettu suomalaista osaamista sekä vielä saatu kansainvälistä tunnustusta ja parhaimmillaan tapauksessa kannattavaa liiketoimintaakin. Esimerkkeinä voi mainita VTT:llä kehitetty reaktorifysiikkakoodi Serpent, VTT:n ja Fortumin yhteistyössä kehittämä simulointiohjelmisto APROS sekä Helsingin yliopiston ja Fortumin radioaktiivisten nesteiden puhdistusmenetelmä NURES ja monia muita.

Tutkimusinfrastruktuurimme on myös laaja-alainen SAFIR- JA KYT-ohjelmien kautta. Lappeenrannan termohydrauliset koelaitteistot ovat palvelleet pitkään, ja juuri vihittiin käyttöön VTT:n upouusi Ydinturvallisuustalo. Ainutlaatuisista on myös ydinturvallisuus- ja jätehuoltokurssien järjestäminen. Alalle saapuneet noviisit ja vähän vanhemmat tieteenharjoittajatkin ovat saaneet kansainvälisestikin mitattuna korkeatasoista ja laaja-alaista koulutusta ydinenergian oppeihin. Tässä on ollut kaikkien toimijoiden yhteistyöhalu ja tahtotila avainroolissa – jokainen on ymmärtänyt yhteistyön kaikkien kannalta parhaaksi vaihtoehdoksi.

Turvallisuus, jätehuolto ja osaaminen ovat mahdollistaneet 50-vuotisen suomalaisen menestystarinan ydinenergian saralla niin, että yhteiskunnan kokonaisedun kannalta ydinenergian käyttö on hyväksyttävää. Kaikkiialla maailmassa tilanne ei ole sama tänä päivänä. Alan toimijoiden keskeinen rooli on pitää huoli, että nämä perusasiat eivät unohtu ja siten yhdessä mahdollistaa suomalaisen ydinenergian käytön menestystarina tulevaisuudessakin.

DI Herkko Plit

Teollisuusneuvos

Työ- ja elinkeinoministeriö

herkko.plit@tem.fi

The Finnish nuclear energy success story

NUCLEAR ENERGY has been used in Finland for nearly half a century. In today's world, a fifty-year old is a person at their prime. In the last decade, nuclear energy has risen to become a central social issue at the national level. Those acting in the field have also certainly experienced how the sector is currently in a period of transition.

Let us first return, however, to the beginnings of nuclear power in Finland. There was plenty of enthusiasm, and no shortage of pioneer spirit and drive. In spite of this though, those involved understood how significant responsibility lies on the subject matter. Perhaps at that time there was even an attitude of respect and awe towards the new and unknown phenomena of radiation and radioactivity. For these or other reasons, high safety standards rose from the very beginning to be a central pillar of Finnish nuclear energy. Nowadays, the matter has been solidly codified in the Nuclear Energy Act: the use of nuclear energy must be safe and it must not cause nor result in damage to individuals, the environment or property. It is easy to hold fast to this core principle both now and in the future.

Safety is monitored by the Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK). Around the world, Finnish safety monitoring has attained a reputation that here permits are not carelessly issued. If an organisation can gain a licence in Finland, it can gain a licence anywhere. The public also trust in the competence of STUK experts. Not long ago, people trusted in STUK experts more than they trusted in the police. That is no small thing.

For decades, we have been taking a responsible approach to waste disposal. In the 1980s, far-reaching decisions were taken in nuclear waste policy: our country was to be responsible for our own nuclear waste. At one

time the strategy also included a tracking of developments in the leading countries in the field, which at that time were clearly ahead of Finland in nuclear waste management development. Today, we are the world leader in waste management of spent nuclear fuel. The construction license received by Posiva in November last year for the construction of an encapsulation and disposal facility is the first of its kind worldwide. We can even take a little pride in this achievement. However, it must also immediately be added that diligent and humble work continues for the safe realisation of this disposal solution.

Finnish competence in nuclear power has been an asset for Finland from both the national and international perspective. During the construction of the Loviisa and Olkiluoto units, a lot of expertise has been acquired, and in the same way now, during the current Posiva disposal project, new waste disposal expertise has been acquired by organisations within the field. So that we can continue the successful use of nuclear energy in Finland, it must be ensured that the required levels of competence and expertise remain in place.

In developing this expertise, research plays an important role. We have numerous examples where, through research and product development, Finnish expertise has been developed and has even received international recognition and, in the best cases, produced profitable business activities. Some of the many available examples would include Serpent, the reactor physics code developed by the Technical Research Centre of Finland (VTT); APROS, the simulation software developed in cooperation by VTT and Fortum; and NURES, the radioactive liquid purification method developed in cooperation by Helsinki University and Fortum, and many others.

Our research infrastructure is also broad-

based thanks to the SAFIR and KYT programmes. The thermo-hydraulic experimental facilities in Lappeenranta have been in operation for a long time, and just recently VTT's brand new Nuclear Safety Center was officially opened. Another unique practice is the organising of courses in nuclear safety and nuclear waste management. Both novices who have just entered the field as well as slightly more senior nuclear science practitioners have received internationally high-level and broad-ranging teaching and training in nuclear energy theory. In this, the aims of all involved in the field and their desire for cooperation have played a key role – those involved have recognised that cooperation is the best option for all concerned.

Safety, waste management and expertise have made possible a 50-year Finnish success story in the field of nuclear energy. This success story demonstrates how, from the perspective of its overall good to society, the use of nuclear energy is to be approved. The situation is not the same in all parts of the world at the present time. The primary role of those working in the field is to ensure that these central matters are not forgotten and, thus, to enable the continuation of the Finnish nuclear energy success story into the future.

M.Sc. (Tech.), Herkko Plit

Deputy Director General
Ministry of Economic Affairs and Employment
herkko.plit@tem.fi

Juhlalehden teemana ydintekniikan menestystarinat

PERINTEISESTI Suomen Atomiteknillisen Seuran juhluvuosina myös ATS Ydintekniikka on julkaissut erityisen juhlanumeron. Vaikka lehdessämme taannoin luovuttiinkin numerokohtaisista teemoista, haluttiin 50-vuotiaasta ATS:aa juhlistaa kertomalla ydintekniikan menestystarinoita. Samalla tulimme koonneeksi laaja-alaisen katsauksen alaamme.

Eräs alamme tärkeimmistä voimavaroista ja kiistaton menestystarina ovat ihmiset ja heidän osaamisensa: tämä kaikki pohjautuu koulutukseen. Ydintekniikan ja radiokemian tohtoriohjelmia YTERA:n päätyttyä kansallinen yhteistyö jatkuu ENNUSTE-verkostossa. Osaajamme ulkomailla -juttusarjassa tutustutaan kolmeen kansainvälisesti merkittävässä tehtävässä työskentelevään henkilöön, jotka kertovat meille työnkuvastaan omalla äänellään.

Osaamista kehitetään eteenpäin erityisesti kansallisissa tutkimusohjelmissamme, sekä

ydinturvallisuuden että ydinjätehuollon puolella, jotka ovat kansainvälisestikin ainutlaatuisia. SAFIR2018-ohjelmalla on tärkeä rooli ydinvoimaloiden turvallisen käytön kehittämisessä ja KYT2018-ohjelma edeltäjäineen on vaikuttanut merkittävästi siihen, että Suomi on ensimmäisenä maailmassa toteuttamassa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta. Tutkimusohjelmien tuloksien loppukäyttäjinä myös luvanhaltijat antavat kommenttinsa ohjelmien hyödyistä.

Kansalliset tutkimusohjelmat mahdollistavat laadukkaan ja yhteishyödyllisen tutkimuksen. Hyvien tulosten varmistamiseksi tarvitaan myös ajantasainen tutkimusinfrastruktuuri: Lappeenrannan teknillisen yliopiston termohydrauliset koelaitteistot, 20.9 käyttöönsä vihitty VTT:n Ydinturvallisuustalo, joka parantaa resurssijamme erityisesti säteilytettyjen materiaalin tutkimuksessa, sekä Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio.

Tältä pohjalta syntyvät myös menestystuotteet, kuten Monte Carlo -reaktorifysiikkakoodi Serpent, radioaktiivisten nesteiden puhdistamismenetelmä NURES ja fuusioreaktorin diverttorikasetin etäoperoinnin hallintajärjestelmä.

Yksittäisten innovaatioiden lisäksi koko ala tuntuu menevän eteenpäin erilaisella hengellä kuin muualla maailmassa. Fennovoiman greenfield-hanke on länsimaissa ainutlaatuinen, Posiva lähtee viemään osaamistaan



maailmalle ja Olkiluotoon on valmistumassa maailman turvallisin EPR-laitos, jonka juuri toimitettua käyttöluupahakemusta tarkastaa kansainvälisesti korkealle arvostettu viranomainen.

Ydinvoima-ala ei kuitenkaan pysy edelläkävijänä itsestään, vaan meidän kaikkien on annettava täysi panoksemme sen varmistamiseksi. Erityisesti energiamarkkinoiden heilahtelun vuoksi elämme jatkuvasti muuttuvassa toimintaympäristössä; ydinvoima-alaa tukisivat pitkäjänteiset poliittiset päätökset. Muutoksen äärellä meidän ei kuitenkaan tule lamaanua, vaan tarttua rohkeasti uusiin haasteisiin ja suunnata tulevaisuuteen. Näin toimivat myös alamme pioneerit 50 vuotta sitten.

Anna Nieminen

Vastaava päätoimittaja

Fortumin Loviisan voimalaitos
Tuotamme kaikille suomalaisille hiilidioksidipäästötöntä, turvallista ja luotettavaa sähköä joka päivä.
www.fortum.com/loviisa

NUGENIA+ -projektin loppuseminaari järjestettiin Helsingissä

NUGENIA+ on Euratomin seitsemänteen puiteohjelmaan kuuluva projekti, jonka tavoitteena oli vahvista NUGENIA-assosiaation roolia toisen ja kolmannen sukupolven kevytvesireaktoreiden tutkimuksen strategisena partnerina ja suunnan määrittäjänä. Projektin loppuseminaari järjestettiin 29.8.–31.8.2016 Helsingissä.

Teksti: Anna Nieminen ja Eija Karita Puska **Kuva:** Eija Karita Puska

NUGENIA on voittoa tavoittelematon yhteisö, jonka tavoitteena on tutkimuksen ja kehityksen avulla edistää toisen ja kolmannen sukupolven (Gen II ja Gen III sekä III+) ydinvoimalaitosten turvallista, luotettavaa ja tehokasta käyttöä ja määrittää tarvittavan tulevan tutkimuksen suuntaa ei vain Euroopassa vaan maailmanlaajuisesti. Keinoja tämän tavoitteen saavuttamiseksi ovat muun muassa tutkimusaiheiden priorisointi sekä kontaktien luominen eri toimijoiden ja merkittävien kansainvälisten organisaatioiden kanssa. Näistä tehtävistä

osaltaan vastasi kolmivuotinen NUGENIA+ -projekti, joka sai rahoituksensa Euratomin seitsemännestä puiteohjelmasta.

Projekti alkoi vuonna 2013 kaikkiaan 18 organisaation yhteistyönä puitesuunnitelman teolla lähtökohdaksi hankehakuun. Puolitoista vuotta projektin strategisen työn alkamisesta yhteensä 14 erillistä tutkimusprojektia ja 32 uutta konsortiopartneria liittyivät NUGENIA+ -projektiin. Tutkimusprojektit saivat enintään 200 k€:n rahoituksen NUGENIA+ -projektilta vähintään 50%:n omarahoitusosuuden lisäksi.

Suuntaviivat hankehauulle

Puitesuunnitelmassa tunnistettiin kahdeksan poikkeittieteellistä aihepiiriä, joihin hankehaku kohdistettiin:

1. Käyttötoiminnan turvallisuuden lisääminen suunnittelun avulla
2. Komponenttien luotettavuus
3. Järjestelmien luotettavuus ja optimoitu toiminta
4. Ilmiöiden mallintamisen parantaminen
5. Julkisen tietoisuuden lisääminen
6. Ydinvoiman kytkeminen osaksi energia-palettia
7. Varautuminen tulevaan teknologian vauhtumisen välttämiseksi
8. Ydinvoimaloiden suorituskyky ja ikään-tyminen pitkäaikaisen käytön varmistamiseksi

Työtä jatkettiin arvottamalla tutkimusaiheita yksityiskohtaisemmin lyhyen, keskipitkän ja pitkän aikavälin haasteisiin. Lähtötietoina käytettiin muun muassa kansallisia tutkimusohjelmia, joista yhtenä tärkeänä esimerkkinä oli kotimainen ydinturvallisuustutkimusohjelmamme SAFIR2018.

Avoimeen NUGENIA+:n hankehakuun toimitettiin yhteensä noin 30 hakemusta, joista 14:lle päätettiin antaa rahoitus ulkopuolisen riippumattoman toimijan arvioinnin perusteella. Tutkimusprojektit on listattu oheisessa taulukossa, jossa kerrotaan myös lyhyesti projektien tärkeimmät saavutukset. Toteutuneista



DI Anna Nieminen

Tutkija, NUGENIA+ assistentti
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
anna.nieminen@vtt.fi



Tkt Eija Karita Puska

Johtava erikoistutkija,
NUGENIA+ koordinaattori
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
eija-karita.puska@vtt.fi

hankkeista merkittävin osa liittyi materiaaliteknikan aihepiireihin ja erityisesti tutkimustee- moissa tuntui nousevan esille laitojen käyt- töän pidentämisen mahdollistaminen.

NUGENIA tutkimusaiheiden määrit- täjänä laajemmassa mittakaavassa

NUGENIAN vuonna 2013 julkaistu tiekart- ta (Roadmap) ja vuonna 2015 julkaistu yli 300-sivuinen Global Vision Document paalut- tavat varsin kattavasti nykyisiä ja tulevia tutki- mustarpeita. Näitä on käytetty hyväksi sekä

NUGENIAN sisällä tutkimusideoita arvioitaes- sa, että myös ulkopuolella. Mainittakoon mm. NUGENIAN ja sen ohjelman maininta eksp- lisiittisesti H2020-hankehauissa. NUGENIA+ -projekti erosi ns. tavanomaisesta Euratomin tutkimusprojektista siinä, että tavoitteisiin ja saavutettuihin tuloksiin sisältyi myös sääntö- jen ja mahdollisuuksien peilausta sitä vasten, miten NUGENIA-yhteisö voisi toimia erilaisis- sa rooleissa tulevaisuudessa.

Projektiin kuulunut tutkimushankehaku, jonka seurauksena pienet demohankkeet käynnistyivät ripeästi, infrastruktuurien ja las-

kentaresurssien kartoitus toimivine on-line-työ- kaluineen, pienet tutkijoiden liikkuvuutta edis- täneet apurahat, samoin kuin NUGENIA+:n puitteissa toteutetut tapahtumat, joista viimei- senä NUGENIA side event IAEA:n 60:ssä yleis- kokouksessa, osoittivat yhteisön toimivuuden ja toimintakyvyn sekä ketteryuden.

Miten osaajat ja tarpeet tuodaan yhteen?

NUGENIA Open Innovation Platform (NOIP) on järjestelmä, jossa kuka tahansa voi esit-

Projekti	Saavutukset
MAPAID (Modelling and Application of Phased Array ultrasonic Inspection of Dissimilar metal welds)	Hitsien raerajojen suunnat saatiin mallinnettua hyvällä tarkkuudella. Simulointi parantaa ainetta rikkomatto- mien tarkastusten tulosten luotettavuutta.
PowderWay (Roadmap for powder metallurgy applica- tions for nuclear components)	Analyysi jauhemetallurgian hyödyntämisestä ydinlaitoksen komponenttien valmistuksessa.
McScamp (Minimising nuclear component Stress Corrosion Cracking (SCC) through Advanced Machining Parameters)	Austeniittisten ruostumattomien terästen jännityskorroosioalttiutta voidaan alentaa uusilla työstötekniikoilla.
ASATAR (Development and Analysis of the Suitability of Accelerated Testing methods for Assessing the long term Reliability of environmentally assisted cracking of nuclear components)	Ohjeisto jännityskorroosioalttiuden määrittämiseksi käyttäen kiihdytettyjä kokeita laboratorio-olosuhteissa yhdistäen erilaisia kiihdyttäviä tekijöitä.
SPARK (Spark Plasma sintering Research In Nuclear Technology)	Valokaariplasmanintrauksella tuotetuilla polttoainepelleteillä pienempi jälkityöstötarve verrattuna perinteisiin menetelmiin. Lisäksi pelletit olivat tyypillisesti kovempia ja homogeenisempia.
APLUS (Development of Standard Protocols for the Analysis of Atom Probe Data to support Improved Modelling & Mechanistic Understanding of Radiation Damage in LWRs)	Määrittämällä atomien sijoittuminen paineastiateräksessä saadaan ainutlaatuista informaatiota säteilyhau- rastumisesta. Luotiin ohjeisto parhaan vastaavuuden saavuttamiseksi kokeiden ja mallinnustulosten välille.
LOSSVAR (Assessing effect of Local SubSoil VARIability and Uncertainty in SSI)	Maaperäprofiilista riippuvalla maan liikkeen vaihtelulla on merkittävä vaikutus maanpäällisten rakenteiden värähtelyyn. Vain osa seismisistä mallinnusohjelmista huomioi ilmiön.
AIR-SFP (Spent Fuel Pool behaviour in loss of cooling or loss of coolant accidents)	Vakavien reaktorionnettomuuksien simuloimiseen tarkoitettuja ohjelmia tulisi käyttää harkiten polttoaineal- taiden onnettomuuksien analysoimiseen. Haasteina ovat lämmönsiirron sekä hapettumisen mallintaminen näissä olosuhteissa.
DEFI-PROSAFE (DEFInition of reference case studies for harmonized PRObabilistic evaluation of SAFETY margins in integrity assessment for long-term opera- tion of reactor pressure vessel)	Metodi paineastian kestävyden marginaalin luotettavammalle arvioimiselle deterministisiin ja toden- näköisyyspohjaisiin menetelmiin perustuen. Lisäksi arvioitiin ne termohydrauliset parametrit, joilla on eniten merkitystä.
SPH-2PHASEFLOW (Simulation of two-phase flow patterns with a new approach based on Smoothed Particle Hydrodynamics)	Uusi menetelmä kaksifaasivirtauksen mallinnukselle osoittautui lupaavaksi numeeristen tulosten perusteella.
INTEGRID (Impact of New Technologies and GRID codes on the local Distribution network of nuclear power plants)	Vikatilanteissa verkon stabiliteetti ja aiheutuneet kuormitukset ovat lähellä ENTSO-E -ohjelman raja-arvoja. Muun muassa generaattorit ja jännitteennostomuuntajat irtosivat verkosta jännitteen laskiessa tiettyjen ra- ja-arvojen alle.
REDUCE (Justification of Risk Reduction through In- Service Inspection)	Rakenteellisia luotettavuusmalleja kannattaa hyödyntää, kun pyritään minimoimaan riskejä rakenteiden kestävyteen liittyen. Erityisesti tulisi ottaa huomioon kuormien epävarmuudet ja määräaikaistarkastuksien käytännöt.
AGE60+ (Applicability of ageing related data bases and methodologies for ensuring safe operation of LWR beyond 60 years)	Koottiin mahdollisimman luotettava tietokanta paineastiateräksen säteily- ja termisestä haurastumisesta, sekä laadittiin trendikäyriä tietokannan käytön helpottamiseksi.
MICRIN+ (Mitigation of CRack Initiation +)	Validoitiin jännityskorroosion ydintymisen alttiuden kiihdytettyä menetelmää, jota voidaan jatkossa käyttää kynnysjännityksen määrittämiseen. Alustavat tulokset pinnan laadun merkityksestä vaativat lisää tutkimus- ta ennen käytäntöön panoa.



NUGENIA:n ja SAFIR2018-tutkimusohjelman välisen yhteisymmärryssopimuksen allekirjoittivat NUGENIA:n presidentti Michel Maschi ja teollisuusneuvos Herkko Plit.

tää tutkimusideansa ja saada siitä palautetta aihepiiriin asiantuntijoilta. Mikäli projekti-idea on asiantuntijoiden arvion mukaan toteuttamiskelpoinen, se julkaistaan järjestelmässä ja muut voivat osoittaa kiinnostuksensa projektiin osallistumiseen. Periaatteessa NOIPin kautta voi etsiä paitsi konsortio partnereita myös rahoittajia.

Yhteisön sisällä on siis pyritty voimakkaasti jakamaan tietoa ja luomaan keinoja, joilla osaajat tuodaan ruohonjuuritasolla yhteen. Lisäksi on tunnistettu, että tietoa tuloksista ja saavutuksista täytyy jakaa tehokkaasti myös ulkopuolisille tahoille. Tätä toteutetaan paitsi julkaisemalla erilaisia dokumentteja myös järjestämällä erityisiä sidosryhmätaapaamisia sekä mahdollistamalla kahdenvälistä yhteistyötä NUGENIA:n ja toisten alan


yhteisöjen välillä. NUGENIA solmi yhteisymmärryssopimuksen syyskuussa 2015 IAEA:n kanssa ja nyt NUGENIA+:n loppuseminaarissa SAFIR2018-tutkimusohjelman kanssa.

NUGENIA ja SAFIR2018-ohjelma yhteistyöhön

NUGENIA:n ja SAFIR2018-tutkimusohjelman välisen yhteisymmärryssopimuksen tarkoituksena on edistää ydinturvallisuustutkimusta ohjelmien yhteisissä tutkimusaiheissa. Yhteistyö voi sisältää yhteisiä tutkimusaloitteita, tutkimusstrategioiden kehittämistä, tutkimustiedonvaihtoa sekä tutkimusinfrastruktuurien käyttöön liittyvää yhteistoimintaa.

Suomen sopijaosapuolena toimi työ ja elinkeinoministeriö. Teollisuusneuvos Herkko Plit

pitikin ydinturvallisuuden jatkuvan kehittämisen kannalta erittäin tärkeänä yhdistää voimia, sillä yhteistyö mahdollistaa resurssien tehokkaan kohdentamisen tärkeimpiin tutkimusaiheisiin ja vähentää päällekkäistä työtä. Hän myös korosti, että yhteistyö kohottaa entisestään suomalaisen ydinturvallisuustutkimuksen tieteellistä tasoa ja parantaa Suomen tutkimuksen kansainvälistä kilpailukykyä ja näkyvyyttä.

NUGENIA:n presidentin Michel Maschin mukaan suomalainen tapa ohjata kansallista tutkimusta yhden ohjelman kautta on merkittävää ja harvinaista Euroopassa. Hän piti yhteisymmärryssopimuksen allekirjoittamista selkeänä osoituksena siitä, että NUGENIA vahvistaa rooliaan alan yhdistäjänä tutkimus- ja kehityskentässä. 

RINGGO

NORDIC



Eurajoen kesän parhaita: ATS YG Summer Symposium

ATS YG Summer Symposium järjestettiin tänä kesänä Eurajoella, Olkiluodossa perjantaina 17.6. Järjestelyistä oli vastuussa Olkiluoto YG, joka on pääsääntöisesti TVO:n ja Posivan henkilöstöstä muodostuva Olkiluodon saaren oma aktiivinen YG-yhteisö. Päivän ohjelmaan kuului luentoja, vierailu voimalaitosjäteluoalla, ydinvoima-aiheiset ryhmätehtävät sekä hyvää ruokaa ja verkostoitumista.

Teksti: Tuukka Sjöblom ja Petri Koivunen **Kuva:** Aija Widermark

Päivällä virallishenkistä tiedonsiirtoa ja vierailuja

Ohjelma aloitettiin WANO (World Association of Nuclear Operators) YG:n hallituksen puheenjohtaja Alejandro Estevez Beines'n puheenvuorolla Olkiluodon vierailukeskuksessa. Hän esitteli WANOn yleistä toimintaa sekä vuodenvaihteessa alulle laitettua WANO PARIS CENTRE Young Generation -toimintaa. WANO on lanseerannut uuden nuorille tarkoitettun ohjelman, joka tarjoaa mahdollisuuden 3–6 kuukauden komennukseen Pariisiin keskuksessaan. Alejandro kertoi kuulijoille tästä uudesta mahdollisuudesta, joka sisältää vähintään yh-

den Peer Review'n Technical Support Missionin asiantuntijana sekä muutamia seminaareja ja työpajoja, joihin osallistutaan aktiivisesti joko puhujana tai avustajana. Komennuksen aikana pääsee osallistumaan kaikkeen tehtävään työhön aktiivisesti vanhemman asiantuntijan valvomana ja ohjaamana. WANOn määrittely YG-toiminnan piiriin kuuluvasta henkilöstöstä on alalla alle 10 vuotta työskennellyt, eli osallistujan ei tarvitse olla alle 35-vuotias, kuten yleisesti YG-toiminnassa on rajana.

Alejandron esityksen jälkeen ryhmä jaettiin kahtia VLJ-luolan vierailua ja OL3-käyttöönnotto-aiheista luentoa varten, jotka pidettiin ryhmille

vuoron perään. Teollisuuden Voima Oyj:n käyttöönottopäällikkö Mikko Niemi ja käyttöönottokoordinaattori Leena Tunturivuori kertoivat käyttöönoton eri vaiheista, sekä siitä missä nyt ollaan. Parhaillaan edetään vaiheessa A, jossa suoritetaan järjestelmien ja komponenttien yksittäisiä koekäyttöjä. Seuraavana merkittävänä virstanpylväänä on NCC, eli Nuclear Circuit Cleaning, jossa puhdistetaan primääripiiri ja siihen liittyvät järjestelmät. Käyttöönoton päätävänä viimeisenä vaiheena E on vuoden 2018 lopulle sijoittuva laitoksen 30 päivää kestävä koeajo.

VLJ-luolalla TVO:n vierailutoimen päällikkö Mika Tanhuanpää esitteli voimalaitosjätteiden loppusijoittamista ja suomalaista kallioperää, joiden ominaispiirteet, kuten maan kohoaminen jääkauden jälkeen, herättivät kiinnostusta erityisesti seurueessa mukana olleissa ulkomaalaisissa. Lopuksi tutustuttiin vielä VLJ-luolassa olevaan Posivan loppusijoitushankkeesta kertovaan Onkalo-näyttelyyn.

Illemmalla epävirallisempi, mutta perinteinen rastikilpailu

Esitysten ja VLJ-luolan vierailun jälkeen koko porukka siirtyi Olkiluodon rannalla sijaitsevaan kokoustila Raunolaan. Raunolassa jo vähän rentoutuneita ygyeäläisiä odotti iloinen vastaanottokomitea ja hampurilais-päivällinen, jonka nauttimisen jälkeen aloitettiin ryhmätyöt.



DI Tuukka Sjöblom
OL3 käyttöönottoinsinööri
TVO
tuukka.sjoblom@tvo.fi



DI Petri Koivunen
Laitosturvallisuusinsinööri
TVO
petri.koivunen@tvo.fi



*Rastilta otettu kuva: OL3:n rakentamis-
demonstraatio – STUK valvoo edustalla:
lisää miehiä tarvitaan!*

Symposiumiin osallistujat jaettiin noin 7–9 hengen ryhmiin, joissa kaikissa oli edustajia eri yrityksistä tai opinahjoista. Ryhmät kiersivät kahdeksan erilaista rastia, joiden aiheet liittyivät päivän ohjelmaan ja Olkiluotoon yleensä. Rastit suoritettiin leikkimielisesti kilpaillen ja jokaiselta rastilta ryhmä sai suorituksensa mukaisen pistemäärän. Lopuksi kunkin ryhmän kaikilta rasteilta saamat pisteet laskettiin yhteen organisaatiokohtaisesti. Voittajaksi tänä vuonna selviytyi Fortum Keilaniemi.

Rasteilla kilvoiteltiin muun muassa tietämyksessä ja esiolympialaisten hengessä fyysisessä taituruudessa heittämällä WANO:n toimipisteitä maailmankartalle. Tehtävä hankaloitui mikäli tietämystä puuttui, sillä tällöin ei tiedetty mihin tähdätä, ja toisaalta mikäli heittotarkkuus ei ollut riittävä, tietämyksestä ei ollut apua. Tarvittiin siis molempia.

Rasteilla oli myös ydinvoima-aiheista sanaselitystä, kuvanarvausta ja päivän ohjel-

maan liittyvä kinkkinen tietovisa. Lisäksi suoritettiin Olkiluoto 3:n käyttöönottoon liittyen putkistojen huuhtelu, jossa tässä tapauksessa todellisuudesta poiketen pyöritettiin putkistoa ja gravitaatio toimi virtausta ajavana voimana.

Posivan Onkalokin oli edustettuna rastilla, jossa polttoaineniippuja pujotettiin loppusijoituskapseliin. Rastilla ei kuitenkaan oikeasti käsitelty käytettyä polttoainetta tai massiivista kapselia, vaan tilanne simuloitiin lelulla, jossa erimuotoisia muovipalikoita pujotettiin sopivan muotoisista rei'istä pallon sisään. Tämä tehtiin tietysti huivi silmillä, kintaat kädessä ja muun joukkueen ohjeistamana – eli lähes yhtä haastavasti kuin kapselien täyttö oikeastikin.

Ryhmätyöt päätti speaktaakkelimainen Talent Olkiluoto, jossa ryhmän piti esittää haluamansalainen taidepläjäys liittyen päivän aiheisiin ja tapahtumiin. Esitys sai sisältää mitä tahansa taiteen lajeja tai alalajeja,

mutta lopuksi arvovaltainen tuomaristo arvioi ryhmän onnistumisen ja omistautuneisuuden esittämälleen asialle.

Auringonlasku Symposiumissa

Rastien purkamisen ja palkintojen jaon jälkeen oli vuorossa hyvin tyypilliseen tapaan verkostoitumista: saunomisen ja makkaran grillauksen lomassa selviää myös muiden osaamiset, jolloin tietää kehen kannattaa ottaa yhteyttä, kun kyseisenlaista osaamista tarvitaan. Ja mikäs olisikaan sen mukavampaa kuin tulla höyryävästä saunasta, pulahtaa laiturin nokasta viileään meriveteen ja haukata grillikuumaa makkaraa menomatalla takaisin saunaan. Aurinkoisen kesäpäivän kääntyessä iltaan muun Suomen edustajat lähtivät bussillaan kohti etelää ja Olkiluodon väki ryhtyi järjestelemään Raunolaa seuraavia haasteita varten ennen kotimatkaa. ☀

Kylässä kyselemässä

Anneli Nikula – radiokemististä viestinnän vaikuttajaksi



Haastattelen Anneli Nikulaa Piesämäellä. Minkä takia siellä? Olen itse kesäsavolainen, joten oli helppo tulla mökiltä Kuopiosta Annelin kotiin Karjalankadulle haastattelua tekemään.

Teksti: Klaus Kilpi

Piesämäeltä ...

Lähdetäänpö Anneli liikkeelle siitä, että olet siis piesämäkeläisiä?

Olen syntyperäisiä piesämäkeläisiä ja tätä haastattelua tehdään lapsuudenkodissani, minkä vanhempani v. 2006 jättivät minulle. Jäin töistä pois ennen eläkeikää v. 2012 voidakseni huolehtia ikääntyneistä vanhemmistani. Mieheni kanssa olemme remontoineet kotia pikkuhiljaa ehommaksi. Kesämökkikin on tässä lähellä sienijä ja marjametsineen. Yli 40 vuotta tuli viivyttyä muualla ja nyt ollaan palattu takaisin lapsuuden maisemiin.



DI Klaus Kilpi
Toimittaja
ATS Ydintekniikka
klaus.kilpi@welho.com

...opiskelemaan radiokemistiksi Helsinkiin

Piesämäen yhteislyseosta kirjoitin ylioppilaaksi ja lähdin Helsinkiin opiskelemaan. Ensin matematiikkaa, kunnes kiinnostuinkin kemiasta ja vaihdoin sen pääaineekseni. Kun fysiikan puolella luin ydinfysiikkaa, pidin siitä ja vaihdoin kemiassa pääaineekseni radioke-

mian. Opettaja minusta tosin alun perin piti tulla, mutta enpä juuri muita ole opettanut kuin Helsingin yliopiston radiokemian laitoksella tutkimusassistenttina ollessani uusia opiskelijoita.

Olet siis Helsingin yliopiston kasvatteja? Ja ilmeisesti opiskellut Jorma K. Miettisen puljussa?

Miettinen oli professorina. Innostuin käydessäni kuuntelemaan hänen luentojaan, hänhän oli hyvin innostava opettaja. Olin kesätöissä radiokemian laitoksella ja tehtyäni Miettiselle gradutyön plutoniumin ja americiumin esiintymisestä ja kulkeutumisesta sedimenteissä ja merivesissä jatkoin laitoksella Miettisen tutkimusassistenttina. Tutkimme voimalaitosjätteen nuklidien kiinnittymistä ja kulkeutumista maa- ja kallioperässä. Maanäytteet olivat sekä Loviisasta että Olkiluodosta. Tein ns. sorptiokerioimia, joita käytettiin turvallisuusanalyysissä. Ydinvoimayhtiöt tilasivat tutkimustyön ja niinpä opin tuntemaan niiden väkeä.

Tieteenteon parista teollisuuden palvelukseen

Yliopistolta sitten Olkiluotoon, miksi ja milloin? Entä Olkiluodon jälkeen?

Yliopistomaailmassa työ oli turvattu vain suunnilleen vuoden ajan kerrallaan, ja työn jatkumisesta ei aina voinut olla varma. Niinpä useamman vuoden työrupeaman jälkeen yliopistolla siirryin v. -82 teollisuuden palvelukseen, hakeuduin Olkiluotoon kemistiksi. Siellä olin muutaman vuoden, vastasin radiokemian analyyseistä ja ympäristön tutkimuksista. Kun mieheni sai työpaikan Helsingistä, anoin siirtoa TVO:n sisällä ja pääsin Helsinkiin TVO:n ydinjätetoimistoon. V. -90 siirryin ympäristö-asiiantuntijaksi Imatran Voimaan, Leena Nurmennon tiimiin. Heikki Niinisen johtamassa neljän hengen ryhmässä teimme IVOn ympäristöpolitiikkaan liittyviä asioita. Ydinvoima-asiat olivat silloinkin tapetilla, koska 90-luvulla Perusvoima Oy:n lopulta toteutumatta jäänyt FIN5-hanke oli jo suunnitteilla. Teimme aineistoja ja pidimme esitelmiä IVOn ympäristöpuolen edunvalvontaan.

Vuonna -96 näin Hesarissa ilmoituksen, jossa haettiin ympäristö- ja ydinvoima-asioiden asiantuntijaa energia-alan järjestöön Sähkövaltuuskuntaan. Arvioin työkokemukseni sopivaksi tehtävään, hain paikkaa ja sain sen. Olin nelisen vuotta järjestössä. Sähkövaltuuskunnasta tuli sinä aikana osa juuri perustettua Finergyä, joka kohtaa sieltä pois lähtöni jälkeen muuttui Energia-alan keskusliitoksi.

Finergystä minut v. -99 pyydettiin takaisin TVO:hon, aluksi työsuhteen piti olla ikään kuin Finergyn laina. Mutta sitten järjestömaailma meni myllerrykseen ja paluusta ei ollut varmuutta. TVO:n hallitus sitten nimitti minut johtavaksi asiantuntijaksi ja jäin sille tielleni. TVO:lta jäin pois viestintä- ja edunvalvonta-tehtävistä v. 2012.

Kasvavassa määrin viestinnän parissa

Kun kristallisoitin työurastasi kertomaasi, niin jo IVOn vuosinasi olet joutunut erityisen paljon tekemisiin viestinnän kanssa, vaikka

kaan se ei silloin muodollisesti ollut sinun päätehtäväsi. Niinkö kävi?

Niin siinä itse asiassa kävi. IVOssa Myyrmäen toimipisteessä kävi paljon vieraita, joille pidettiin usein myös ympäristö-aiheisia esitelmiä. Johdonkin taholta tuli joskus pikapyyntöjä: ”Nummisella on vieraita, voisiko sieltä joku tulla?” Pidin usein esityksiä ydinjätehuollosta ja ydinvoimasta, koska ne asiat olivat minulle tuttuja. IVOsta pois lähtiessäni sanoinkin, että työ menee liian paljon viestimiseen. Halusin tehdä asiantuntijatyötä ja tuntui, etten ole omalla alallani radiokemistin töissä. Lähdin järjestötyöhön, mutta myöhemmin kuitenkin ajauduin täysin viestijäksi.

Myös järjestössä?

Sekä järjestössä että sen jälkeen TVO:ssa. Luulen, että 2000-luvulla moni TVO:ssa ei enää muistanutkaan, että alun perin v. 82 olin tullut sinne tekniikkapuolen töihin.

Miksikä itse itseäsi luonnehdit? Olethan yliopiston kasvatti eli et polilta.

Olen radioaktiivisten aineiden kemisti, en insinööri. Mutta periaatteessa tietyllä tavalla myös tekniikkaihminen, sillä ydinvoimalaitoskemistin täytyy aika tarkkaan hallita laitoksen prosessit. Ydinvoimatekniikka ja ydinvoimalaitoksen turvallisuusasiat tulivat mm. kaikkien valmiusharjoitusten kautta varsin tutuiksi. Siihen aikaan 80-luvulla oli kaikille voimalaitoksella työskenteleville pitkät ja perusteelliset voimalaitostekniikkakurssit. Ne järjestettiin yhtiön sisäisenä koulutuksena ja kurssit myös tentittiin. Oli insinööri sitten materiaali-, kone-, sähkö- tai miltä alalta nyt olikin, hänen piti kuitenkin hallita koko prosessi, niin konetallolta kuin järjestelmäkohtaisesti. TVO:lla oma koulutus toimi hyvin tehokkaasti, samoin varmaan myös IVOssa. TVO:n pitkät BWR-kurssit siinä muodossa loppuivat jossakin vaiheessa, nykyään tilalle on tullut Lappeenrannassa järjestettävät yhteiset YK-kurssit.

Tokihan sain vuosien mittaan myös paljon viestintäkoulutusta ja loppuvuodet tein pääosin viestintä- ja edunvalvontatyötä. Ei tekniikkaihminenäkään mielestäni koskaan valmis viestijä ole, oli hän omasta mielestään vaikka



Anneli sai WIN Awardin vuonna 2002. Palkinnon myöntämisperusteissa mainittiin mm. hänen pitkä uransa, jonka kuluessa hän on edistänyt ydinvoiman yleistä hyväksyttävyyttä omalla asiantuntemuksellaan, henkilökohtaisella karismallaan sekä poikkeuksellisen vahvalla omistautumisellaan. (Kuva: Allophoto-Paris-Claude Sarrabia).

kuinka hyvä viestimään. Ulkopuolista asiantuntijatahoa tarvitaan myös katsomaan, osaaiko asioista viestiä kansantajuisesti. On helppo keskustella asioista kollegoiden kanssa. Mutta osaako viestiä tavalliselle kansalaiselle ja osaako kuunnella häntä voidakseen nähdä, mitä kohtaa viestinnästä kuulija ei ehkä ymmärtänyt? Jos osaa kuunnella ja ”lukea” ihmisiä, oppii näkemään, missä kohtaa kuulija mahdollisesti ”putosi kärryiltä”, ei ymmärtänyt sitä mitä sanoin. Oma virhettään pystyy sitten paikkaamaan ja selittämään asian uudelleen ilman että toisen tarvitsee sitä kysyä.

Viestintä päätyönä

TVO:ssa tulin v. -99 suoraan Mauno Paavolan alaisuuteen valmistelemaan yhdessä hänen ja projektiryhmän kanssa Olkiluoto 3:n periaatepäätöshakemusta. Kollegoitani viestintäasioissa olivat mm. WANO:n töistä juuri palannut Ahti Toivola ja Olkiluodon viestinnästä vastannut Tellervo Taipale ja vanhempi asian-



Anneli Nikula esiintymässä Säteilevät Naiset -seminaarissa vuonna 2005. Anneli toimi Energiakanavan puheenjohtajana vuosina 1996–2000.

tuntija Martti Kätkä. Viestintään, edunvalvontaan ja yhteiskuntavastuuseen liittyvät asiat olivat sitten päätyöni koko 2000-luvun työvuoteni TVO:ssa.

Olet myös tehnyt merkittävän viestinnällisen panoksen, kun olet voinut naisena kertoa naisille ydinvoima-asioista. Kuinka iso osa viestintäsi se on ollut?

Se on varmaan tullut tässä mukana osana kokonaisuutta. Varmaankin se on siinä vaiheessa ollut yksi tekijä valinnassani TVO:lle, mutta sitä pitäisi tietysti kysyä Mauno Paavolalta ja hänen kumppaneiltaan. Ydinvoimasta oli ehkä syntynyt mielikuva tummapukuisten teollisuusmiesten hankkeesta, joten tarvittiin varmaankin vähän pehmeämpiä naisen kasvoja ajamaan asiaa. Vaikka kukaan ei ole tästä koskaan minulle suoraan sanonut, se on varmasti ollut yksi syy sille, että päätyökseni tuli lopulta viestiminen.

Koska on paljon erilaisia naisjärjestöjä ja organisaatioita, niin oli tietysti luontevaa, että esimerkiksi ATS:ssä järjestäydyttiin sitten, että myös näille naisryhmille kerrottiin

ATS:n uudet kunniajäsenet



Rainer Salomaa

TEKNIIKAN TOHTORI, professori emeritus Rainer Salomaa (s. 1947) aloitti opiskelunsa Teknillisessä korkeakoulussa 1966 ja väitteli vuonna 1974. Salomaa on tehnyt uransa tutkimusmaailmassa työskennellen Helsingin yliopistolla, VTT:llä, TKK:lla ja Aalto-yliopistossa. Hänen tutkimusaiheitaan ovat olleet laserit ja niiden sovelluk-

set, fuusio ja plasmafysiikka, säteilyfysiikka, ydintekniikka ja ydinenergia. Salomaa nimitettiin apulaisprofessoriksi vuonna 1983 ja kaksi vuotta myöhemmin teknillisen fysiikan professoriksi. Tästä virasta hän eläköityi vuonna 2014. Salomaalla on ollut uransa aikana lukuisia luottamustehtäviä, joista mainittakoon muun muassa seuraavat: Ydinenergianeuvottelukunnan puheenjohtaja vuosina 2003–2008, Oikiluodon ydinvoimalaitosten turvallisuusryhmän jäsen vuodesta 1999 lähtien ja Loviisan ydinvoimalaitosten turvallisuusryhmän puheenjohtaja vuodesta 2008 lähtien, European Nuclear Education Network -assosiaation (ENEN) hallituksen jäsen vuosina 2009–2012, Kansallisen ydinturvallisuuskurssin suunnitteluryhmän jäsen vuosina 2002–2014 ja Ydintekniikan

ja radiokemian tohtoriohjelman (YTERA) johtaja vuosina 2012–2015.

Rainer Salomaa on ollut ATS:n jäsen vuodesta 1981. Hän on toiminut ATS:n varapuheenjohtajana vuosina 1989–1990 ja puheenjohtajana vuosina 1991–1993. Hän on saanut myös Erkki Laurila -palkinnon vuonna 2001 artikkelistaan Fuusioenergian 50 vuoden synnytyks.

Salomaa on omalla esimerkillään kannustanut ydintekniikan sekä plasma- ja fuusiofysiikan tutkimusryhmiensä jäseniä aktiiviseen osallistumiseen ATS:n toimintaan. Opetustehtäviensä sekä luottamustoimiensa kautta Hän on verkottanut itsensä ja alaisensa suomalaiseen ydinenergia-alaan ja samalla ATS:n jäsenistöön erittäin tehokkaasti. Salomaa on luonut mutkattomat henkilökohtaiset kontaktit eri toimijoihin, mikä on osaltaan katalysoinut alalle tunnusomaista yhteistyöhön.



Anneli Nikula

RADIOKEMISTIN koulutuksen saanut filosofian maisteri Anneli Nikula (s. 1952) on työuransa alkuvaiheista lähtien, jo lähes 40 vuoden ajan, rakentanut luottamuksen ilmapiriä ydinenergia-alan viestinnässä. Hänen työuransa alkoi Helsingin yliopiston radiokemian laitokselta, jossa hän selvitti radioaktiivisten aineiden kulkeutumista maa- ja kallioperässä. Hän siirtyi TVO:lle radiokemistiksi vuonna 1982, jatkoi vuonna 1985 ydinjätekemistinä ja oli aktiivisesti mukana käynnistämässä ydinjätteen

ydinvoimasta ja energia-asioista. ATS:n historiikissa on hyvin kuvattu, miten naistyöryhmä Energiakanava syntyi ATS:aan. Oli paljon muitakin, ei välttämättä ydinvoima-alalta mutta kuitenkin energia-alan ihmisiä, jotka kokivat, että energia-asioita ei riittävästi tunneta naisten keskuudessa. Ja kuitenkin sähkö ja ydinvoima osana sitä on tärkeä osa kotien ja teollisuuden energian käyttöä.

Energiakanavan käynnistyminen ”Ilo olla nainen” -messutapahtumasta jossa Energiataloudellisella yhdistyksellä oli oma osasto. Osastolla näytettiin videoita, kuinka sähkön käytön lisääntyminen kodeissa on helpottanut kotitaloustöitä, pumpput pumppaavat veden sisälle, on eri lämmitysmuodot, pyykinpesu- ja astianpesukoneet, erilaiset kodin sähkölaitteet.

Messutapahtuman kävijöiltä oli tullut paljon positiivista palautetta, minkä vuoksi esittelijät kokoontuivat tapahtuman jälkeen miettimään, tulisiko perustaa erityinen naiset naisille -järjestö. Tuloksena oli, että päätettiin järjestön perustamisesta tieteellisen emojärjestön puitteissa. Lähtökohtana oli, että tiedon jakamisen pitää perustua tieteellisiin tosiasioihin. Asioita opis-

keltiin iltaisin eri energiamuotojen parhaiden asiantuntijoiden avustuksella. Ongittiin oikea tieto selville ja sitä sitten jaettiin. Sellainen loi uskottavuutta. Ei puhuttu pelkästään ydinvoimasta vaan koko energiakentästä.

Globalimaailmassa tapahtuu nykyään paljon ja erittäin nopeasti, mikä on kova haaste viestinnälle. Millaista on ollut viestinnän nopeuden kehitys?

Se on mennyt vauhdilla eteenpäin. Vielä kun Olkiluoto 3:n viestintää käynnistettiin, sosiaalinen viestintä oli paljon pienemmällä tasolla. Toimittiin kalvojen ja esitteiden avulla erilaisissa tapaamisissa. Olkiluoto 4:n viestinnässä TVO:n sivustoilla oli jo omat OL4-sivut, jonne pantiin tietoa. Seurattiin myös tiiviisti verkossa käytävää keskustelua. Mutta ei oltu vielä lähelläkään tämän päivän tasoa ja sitä nopeutta kuin Twitterissä ja Facebookissa nykyisin. Viestinnän nopeus on ilman muuta haaste tänä päivänä. On ehdittävä jakaa oikeaa tietoa oikeaan aikaan monien viestintäkanavien kautta. Ei käy kateeksi tämän päivän viestijöitä.

Ydinenergia-asioista viestiminen on haasteellista. Onko parempi olla viestimättä kuin lähteä viestimään nopeasti ja ehkä harkitsemattomasti?

Minun mielestäni kukaan ei odota, että ydinvoimayhtiö viestii tarkasti ennen kuin se on asiaa selvittänyt. Mutta aina on sanottava, että asiaa nyt selvitetään ja heti kerrotaan, kun tiedot on varmennettu ja hyvä on kertoa, koska seuraava viesti tulee. Se riittää useimmiten.

Olkiluodon vierailukeskus on erinomainen keino kertoa ydinvoimasta, siellä kerrotaan ydinvoiman koko elinkaari. Osaatko sanoa, mitkä ovat ne ihmisiä huolestuttavat avaintekniset kysymykset, jotka ovat edelleen relevantteja?

Kansalaisten huolenaiheena on se, voiko laitoksesta tulla radioaktiivinen päästö. Ja mitä se voisi aiheuttaa, miten iso osa alueesta mahdollisesti menisi asumattomaksi? Nämä ihmisiä kiinnostavat asiat eivät ole muuttuneet vuosikymmenten aikana. Välillä tulee uusia viestittäviä asioita, kuten esimerkiksi, miksi Fukushima

loppusijoituspaikkatutkimuksia viidellä tutkimusalueella. Nikula nimitettiin TVO:n ydinjätetoimiston yleissuunnittelijaoksen päälliköksi vuonna 1988. Hän työskenteli 1990-luvulla johtavana asiantuntijana sekä Imatran Voiman, että Energiateollisuus ry:n palveluksessa. Vuonna 1999 Nikula nimitettiin TVO:n johtajaksi edunvalvonnan tehtäviin ja vuosina 2003–2009 hän toimi yhteiskuntavastuu- ja viestintäjohtajana. Hän jäi edunvalvontatehtävistä eläkkeelle vuonna 2012.

Nikulalla on lisäksi ollut lukuisia ydinvoima-alan luottamustehtäviä. Hän on esimerkiksi toiminut samanaikaisesti vuosina 1997–1999 Foratomissa, Eurelectricissä ja NucNetissä. Anneli Nikula on ollut ATS:n jäsen vuodesta 1986 ja johtokunnan jäsen vuosina 1997–1999, joista varapuheenjohtajana vuodet 1998–1999. Hän toimi Energiakanavan koordinoitiryhmässä lähes 20 vuotta, joista puheenjohtajana vuosina 1996–

2000 sekä oli ATS-Infon jäsen vuosina 1996–2007.

Nikula on oman työnsä ohessa toiminut lempeänä tiedonjakajana luoden hyvää ja totuudenmukaista kuvaa ydinvoima-alasta. Hän oli tiedonjaon avainroolissa, kun TVO sai eduskunnalta myönteisen periaatepäätöksen vuonna 2002 kolmannelle ja vuonna 2010 neljännelle yksikölle.



Heikki Raumolin

TEKNILLISEN FYSIIKAN diplomi-insinööri Heikki Raumolin, (s. 1944) on toiminut yli neljän vuosikymmenen ajan ydinenergian

rauhanomaisen käytön edistämiseksi Suomessa eri asiantuntija- ja johtotehtävissä kauppa- ja teollisuusministeriössä, Teollisuuden Voimassa, Perusvoimassa, Imatran Voimassa ja Fortumissa, josta hän jäi eläkkeelle. Raumolin aloitti uransa KTM:n atomitoimistossa vuonna 1969 ja siirtyi 1970-luvun puolivälissä teollisuuden palvelukseen hoitaen mm. projekti- ja ydinjätetoimiston päällikön tehtäviä. 1980-luvun puolivälistä eteenpäin Raumolin toimi voimayhtiöiden uuden ydinvoimalaitoksen rakentamista varten perustetun Perusvoima Oy:n teknisenä johtajana. Siirtyessään myöhemmin Imatran Voiman palvelukseen hän jatkoi työtä ydinjätehuollon ja ydinenergian käytön edellytysten ylläpitämisen parissa.

Raumolinin työllä on ollut pitkälle ulottuvaa yhteiskunnallista merkitystä muiden muassa nykyisen ydinenergiainsäädännön kehittämisessä, uusien ydinvoimalaitoshankkeiden val-

mistelemisessä sekä käytetyn ydinpolttoaineen huollon suunnittelemisessa ja loppusijoitushankkeen valmistelemissä.

Heikki Raumolin on ollut ATS:n jäsen vuodesta 1970. ATS:ssä hän on toiminut lukuisissa luottamustehtävissä, joista mainittakoon johtokunnan puheenjohtajuus vuosina 1983–1985 ja ATS Ydintekniikan päätoimittajuus vuosina 1988–1991. Raumolin tunnetaan ATS:n piirissä seurallisena ja huumorintajuusena henkilönä – helposti lähestyttävänä ja auttavaisena persoonana, jossa kiteytyvät myös yhdistyksemme arvot alan yhteisöllisyyden vaalimisesta, kollegiaalisuudesta ja ammattiosuuden arvostuksesta.

ei ole Suomessa mahdollinen. Joskus pohdittiin, onko hyvä puhua turvallisuusasioista. Alkavatko ihmiset pelkäämään enemmän, jos turvallisuusasioita painotetaan? Minun mielestäni on hyvä, että itse kerrotaan, millä tavalla turvallisuus hoidetaan. Esimerkiksi että on monia rinnakkaisia järjestelmiä, joilla veden saanti reaktoriin turvataan.

Ja koska säteily ei ole ihmisille tuttu, toinen relevantti aihe on, voiko ydinjätteen loppusijoitustilasta tulla päästöjä pitkien aikojen kuluessa. Minun mielestäni turvallisuusanalyysien osoittamat faktat on hyvä kertoa ja näyttää konkreettisesti, miten käytetty polttoaine loppusijoitetaan. Sellainen vie ihmisten pelkoa pois.

Erityiskysymyksiä viestinnästä

Onko viestijän sukupuolella tai iällä merkitystä? Pitäisikö olla viestijöitä kaikista ihmisistä ikäryhmistä?

Mehän kaikki käytämme erilaista kieltä. Voin hyvin kuvitella, että jos olen kertonut jostakin ydinvoiman turvallisuuden tai ydinjätehuollon asiasta, niin joku hyvin ammatti-ihminen ajattelee, että puhun siitä liian yksinkertaisesti. Hän ehkä haluaisi, että puhuisin käyttäen vähän enemmän tieteellisiä termejä. Nuorilla taas on oma kielensä, elekielensäkin. Kuulija samaistuu helpommin omanlaiseensa viestijään, mutta ei tämä mikään ehdoton sääntö ole. Tärkeintähän on viestijän uskottavuus omassa asiassaan ja siinä ei mielestäni ole sukupuolieroja.

Asiantuntijuuden pitää tietysti myös olla mukana, mutta ei ylikorostaen? Entä nöyryys?

Nöyryys, se nimenomaan. Ja koskaan ei saa aliarvioida kuulijaa. Vastanottaja on ratkaisevassa asemassa siinä, kuinka kerrotaan ja mitä kerrotaan. Pidän aikoinaan paljon esitelmää, varmaan satoja, ellei tuhansia. Aina mietin sitä, kuka tänään on kuulemassa, millainen ryhmä, mitä asioita he odottavat minun kertovan? Oliko heiltä ennakkotoiveita? Niihin pitää aina vastata. Ja se, mikä heitä voisi kiinnostaa? Jos olisin he, niin mitä itse haluaisin tietää?

Mikä on puhutun ja näytetyn viestinnän keskinäinen suhde? Hitaus, nopeus?

Varmaankin hyvä, jos pystyy yhtä aikaa kertomaan ja samalla näyttämään kuvia. Mutta kuvia ei saa näyttää liian kovaa vau-

tia eikä pidä käyttää liikaa ammattitermejä, ihmisen pitää voida ehtiä myös sisäistämään saamansa tieto. On osattava asettautua kuulijan asemaan. Tekniikkapuolen ihmiset ymmärtävät kyllä lukuja ja diagrammeja. Mutta on paljon sellaisia kuulijoita, jotka eivät ole tottuneet lukemaan vaikkapa logaritmisia diagrammeja.

Puhua voi nopeamminkin, jos ääntää selkeästi mutta kuvat pitää näyttää hitaasti, antaa aikaa katsoa kuvaa. Muistan, kun pidin suunnilleen ensimmäistä seminaariesitelmää Jorma K. Miittiselle. Taisi esitelmä olla kasvun rajoista? Joku sitten sanoi, että puhun liian nopeasti. Mietintä sanoi siihen, että ”ei ollenkaan, minä ymmärsin kaiken”. Ehkä en osannut ottaa riittävästi huomioon kuulijakuntaani?

Lopuksi vielä, mitä on viestintä ja mitä tiedotus? Antaisitko niille nasevat määritelmät?

Tiedottaminen on minun mielestäni yksisuuntaista. Tiedote lähetetään tai viestitään, kyse on puhtaasti tiedon jakamisesta. Pörsstitiedote on esimerkiksi puhtaimmillaan vain tiedote, jossa kerrotaan, mitä yhtiössä on päätetty tehdä. Viestintä taas on kaksisuuntaista ja siihen nimenomaan pyritään. Siinä kommunikoidaan enemmän. Viestijä ottaa huomioon toisen ja ottaa vastaan kysymyksiä ja palautetta. Oma viestiä korjataan tarvittaessa palautteen pohjalta, jotta ymmärrettävyys parane.

ATS:n kunniajäseneksi

Kysynpä lopuksi teemasta sinä ja ATS. Milloin ja miten ATS tuli elämäsi? Tuliko sekin vaiheittain kuten viestintä?

Liityin ATS:aan Heikki Raulmolinen alaisena ollessani elikkä vuoden -85 paikkeilla, varmaan osittain siitä syystä, että TVO:n ydinjätetoimistossa suurin osa kuului ATS:aan. Alussa kävin lähinnä kuukausikokouksissa, 90-luvulla toimin jo varsin aktiiv-

Anneli kuvattuna kotinsa puutarhassa haastattelun jälkeen.

visesti mm. Energiakanavassa ja olin johtokunnassa varapuheenjohtaja.

Olet ollut ATS:n 50-vuotishistoriikin teossa vahvasti mukana. Onko työ ollut mielenkiintoista?

Tosi mielenkiintoista! On ollut mukava tuttu työryhmä! Ja aihepiiri on ollut kiehtova, kuten vaikkapa seuran syntyvaiheet ja toiminnassa liikkeelle lähtö. Olen myös hyvin otettu siitä, että minut on nimetty seuran kunniajäseneksi. Se on minulle suuri kunnianosoitus seuran taholta, ja olen siitä todella iloinen.

Olemme varmaankin tottuneet ajattelemaan, että on ne jauhot, mieltiset ja muut alan pioneerit ja sitten se loppuisi siihen. Mutta ei maailma siihen lopu, vaan historia osoittaa, että koko ajan matkan varrella on ollut eri henkilöitä. Tässä ATS:n merkitys mielestäni näkyy parhaiten. Seura on platformi, jonne saadaan ydinenergia-alan väkeä kaikilta tahoilta. Kiitos Anneli haastattelusta!



WEDNESDAY 2 NOVEMBER 2016

09:00 – 10:05 OPENING SESSION

- 09:00 *Opening of SYP2016*
Chairman of the Board **Kai Salminen**, Finnish Nuclear Society
- 09:05 *Greetings from the Government*
Director General **Riku Huttunen**, Ministry of Economic Affairs and Employment
- 09:20 *Fennovoima's Hanhikivi 1 project*
CEO **Toni Hemminki**, Fennovoima Oy
- 09:35 *Fortum's view of Future Energy Supply*
Executive Vice President **Tiina Tuomela**, Fortum Oyj
- 09:50 *Current Activities in Olkiluoto*
CEO **Jarmo Tanhua**, TVO Oyj

10:15 – 11:55 TECHNICAL SESSIONS

- 10:15 *Utilization of VTT's Monte Carlo Code Serpent2 in Validation of Lattice Physics Methods at Westinghouse*
Mr. **Karol Luszczek**, Westinghouse Sweden AB
- 10:40 *Verification of the PWR Core Analysis Code RAST-K 2.0*
Mr. **Youqi Zheng**, Isan National Institute of Science and Techn.
- 11:05 *Reactivity Control of a Soluble-Boron-Free AP1000 Equilibrium Cycle*
Mr. **Mohd-Syukri Yahya**, Korea Advanced Institute of Science and Techn.
- 11:30 *The Swedish Nuclear Transport System*
Marine Transports Manager **Anna Wikmark**, SKB AB
- Numerical Modelling of Direct Contact Condensation of Steam in BWR Pressure Suppression Pool System*
Research Student **Gitesh Kumar Patel**, Lappeenranta University of Technology
- Full-Scale Testing of Noncondensable Gas Transport in Emergency Piping*
Director **Damian D. Stefanczyk**, Fauske & Associates, LLC
- Acoustic Resonance in Main Steam Line Side Branches*
Director **Jens Conzen**, Fauske & Associates, LLC
- Opportunities for Source Modelling to Support the Seismic Hazard Estimation for NPPs*
Research Scientist **Vilho Jussila**, VTT Oy

12:00-13:00 Lunch

13:10 – 14:50 TECHNICAL SESSIONS

- 13:10 *Simplified Transport Modelling of a Disposal System and Doses Using Probabilistic Methods*
Design Engineer **Pekka Kupiainen**, Fortum Power and Heat Oy
- 13:35 *Upscaling Laboratory Data towards In Situ Conditions*
Ms. **Eveliina Muuri**, University of Helsinki
- 14:00 *Managing of Intermediate-Level Waste in the Shadow of Spent Nuclear Fuel*
Team Leader **Tero Lytsy**, Platom Oy
- 14:25 *The Final Decision – Ethical Views on Final Disposal in Finland and Sweden*
Dr. **Matti Kojo**, University of Tampere
- Reliability Analysis of Digital I&C in Nuclear Power Plants*
Dr. **Jan-Erik Holmberg**, Risk Pilot Ab
- Fission Product Behaviour in the Containment*
Ms. **Anna Nieminen**, VTT Oy
- Ex-vessel Steam Explosion Analysis with MC3D*
Mr. **Magnus Strandberg**, VTT Oy
- Radiocarbon Emissions Monitoring Based on Laser Spectroscopy*
Mr. **Guillaume Genoud**, VTT Oy
- Thermochemical Modelling of Nuclear Fuel*
Research Scientist **Henri Loukusa**, VTT Oy
- Development of a Triple-Coincidence Positron Lifetime Spectrometer for Nuclear Materials Research*
Mr. **Janne Heikinheimo**, Aalto University
- Novel Instrumentation for Nuclear Safety, Security and Safeguards: the NINS3 Project*
Scientist **Pauli Peura**, Helsinki Institute of Physics
- Expanding the Use of Serpent Monte Carlo Code beyond Reactor Physics*
Dr. **Jaakko Leppänen**, VTT Oy

15:30 – 16:50 PLENARY SESSION

- 15:30 *British Perspective on Small Modular Reactors*
Senior Lecturer **Eugene Shwageraus**, University of Cambridge
- 15:50 *Making Sense of Nuclear Safety: Insights from the 'Overall Safety Concept' Study*
Professor **Juhani Hyvärinen**, Lappeenranta University of Technology
- 16:10 *Science of Nuclear Materials: from Condensed Matter Physics to Engineering Challenges*
Professor **Filip Tuomisto**, Aalto University
- 16:30 *Fusion in the Footsteps of Fission - from Basic Research to Building Reactors*
Senior Scientist **Antti Hakola**, VTT Oy

SUOMALAISEN YDINTEKNIIKAN PÄIVÄT

NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY SYMPOSIUM

MARINA CONGRESS CENTRE HELSINKI 2–3 NOV 2016

THURSDAY 3 NOVEMBER 2016

09:00 – 10:00 PLENARY SESSION

- 09:00 *Olkiluoto 3 Commissioning*
Project Director **Jouni Silvennoinen**, TVO Oyj
- 09:15 *Hanhikivi 1 Project Status*
Licensing Manager **Janne Liuko**, Fennovoima Oy
- 09:30 *FIR 1 TRIGA Mark II Research Reactor Decommissioning*
Research Team Leader **Petri Kotiluoto**, VTT Oy
- 09:45 *Posiva Perspectives in Disposal of Spent Nuclear Fuel*
Senior Vice President **Tiina Jalonen**, Posiva Oy

10:15 – 11:55 TECHNICAL SESSIONS

- 10:15 *Integrated System Level Simulation and Analysis of DEMO with Apros*
Design Engineer **Sami Kiviluoto**, Fortum Power and Heat Oy
- 10:40 *Remote Handling in Fusion and Fission Research and Industry*
Principal Scientist **Mikko Siuko**, VTT Oy
- 11:05 *Neutrons in Fusion Experiments and Reactors*
Mr. **Jari Varje**, Aalto University
- 11:30 *Compact Fusion Reactors*
Dr. **Tomas Lindén**, Helsinki Institute of Physics
- The new VTT Centre for Nuclear Safety*
Research Team Leader **Wade Karlsen**, VTT Oy
- Design and Implementation of Forced Cooling Towers for Loviisa NPP*
Design Engineer **Antti Teräsvirta**, Fortum Power and Heat Oy
- Safety Culture Concept of an Expert Company*
Platom Oy Head of Process Modelling **Pasi Junninen**, Platom Oy
- How to Face Higher Quality Expectations for the Global Nuclear Supply Chain?*
Director **Stephane Galopi**, Bureau Veritas
- Westinghouse TRITON11™ BWR Fuel Design*
Mr. **Uffe Bergmann**, Westinghouse Electric Sweden AB
- Nuclear New Build – Commercial and Contract Management*
Managing Director **Brian Allan**, QSI Consultancy Group
- Advanced Licensing and Safety Engineering Method - ADLAS®*
Mr. **Antti Rantakaulio**, Fortum Power and Heat Oy
- TVO Reactor Internal Pumps: Improved Design to Achieve 20% Capacity Increase*
Marketing Manager **Mats Olsson**, Westinghouse Electric Sweden AB

12:10 – 12:55 PLENARY SESSION

- 12:10 *Panel discussion: Subject TBA*
Participants TBA
- 12:55 Session end and symposium conclusion

13:00-14:00 Lunch

17:00 – 19:00 STUDIA GENERALIA (in Finnish)

Aalto University School of Business
Runeberginkatu 14–16, hall B200
Presenters: **Timo Äikäs** (Posiva) and **Taina Kurki-Suonio** (Aalto)
See: www.ats-fns.fi/fi/syp2016/studia-generalia



*Kustos professori Filip Tuomisto, vastaväittäjä professori Sedat Goluoglu ja väittelijä Tuomas Viitanen saapumassa väitöstilaisuuteen touku-
kuussa 2015. Viitanen väitöksen aiheena oli lämpöliikkeen huomioiminen stokastisella menetelmällä Monte Carlo -neutronikuljetuslaskussa.*

Ydinenergia-alan koulutustuulia

Ydintekniikan ja radiokemian tohtoriohjelma YTERA päättyi vuonna 2015. Kansallinen yhteistyö alan tohtorikoulutuksessa jatkuu ENNUSTE-verkostossa (Doctoral Education Network in Nuclear Science and Technology).



TkT Filip Tuomisto

Professori, ydintekniikka
Teknillisen fysiikan laitos, Aalto-yliopisto
filip.tuomisto@aalto.fi

Teksti: Filip Tuomisto **Kuva:** Seppo Hillberg

YTERA (2012–2015) oli viimeisiä opetus- ja kulttuuriministeriön Suomen Akatemian kautta rahoittamia kansallisia tutkijakouluja (ATS Ydintekniikka 3/2015). YTERA kuului siihen harvalukaiseen joukkoon, joka sai merkittävää rahoitusta myös teollisuudesta. YTERA rahoitti 7 täysipäiväistä tutkijakoulutettavaa, joiden lisäksi 37 tohtoriopiskelijaa osallistui toimintaan. Tämän artikkelin kirjoittamisen aikaan kaiken kaikkiaan 21 ydinenergia-alan tohtoria on valmistunut ohjelman puitteissa, ja kaik-

ki ovat työllistyneet hyvin (yksi on vaihtanut alaa). Kattava kuvaus tohtoriohjelman toiminnasta on luettavissa YTERAn loppuraportista.

Työ- ja elinkeinoministeriön johdolla tehty kansallisen ydinenergia-tutkimuksen strategia suosittaa laaja-alaisen ja kattavan tohtorikoulutusverkoston luomista. Samoin YTERAn johtoryhmä on vahvasti suosittanut kansallisen yhteistyön jatkamista tohtorikoulutuksessa. Näihin huutoihin vastaa ENNUSTE. Kieli on matkalla vaihtunut englanniksi yliopistotasaisen koulu-

tuksen muuttuessa yhä kansainvälisemmäksi. Tarkempi tarkastelu osoittaa, että kyseessä on itse asiassa yliopistojen sisäisten tohtorikoulutusverkostojen verkosto.

Kattavuus ja laaja-alaisuus tarkoittavat, että ENNUSTE kattaa kaikki ydinenergiaan liittyvät alat: ydintekniikan, ydinturvallisuuden, termohydrauliikan, ydinjätehuollon, radiokeemian, säteilyturvallisuuden, fuusiotekniikan, ydintekniikan materiaalit, ydinfysiikan, jne. Verkostossa ydinreaktioiden fysiikka ja reaktorikinetiikka kohtaavat mm. järjestelmätason tekniset ja inhimilliset haasteet sekä ydinjätteen loppusijoituksen pitkä-aikaisturvallisuuden kysymykset.

Ydinenergia-alalle on ominaista, että jatko-opiskelijoista suuri(n) osa työskentelee muualla kuin yliopistoissa. Nämä jatko-opiskelijat ovat yliopistojen näkökulmasta sivutoimisia jatko-opiskelijoita, ja jäävät monesti tavanomaisten tohtorikoulutustoimien ulkopuolelle. ENNUSTE luo näille nuorille tutkijoille mahdollisuuden monitieteiseen toimintaan sekä tehokkaaseen verkostoitumiseen yliorganisaatorajojen.

ENNUSTE aloittelee toimintaansa, ja siinä ovat mukana Aalto-yliopisto, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Helsingin yliopisto, Jyväskylän yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto, Itä-Suomen yliopisto ja Oulun yliopisto. Kaiken kaikkiaan mukana on noin 40 professoria ja ENNUSTEen piiriin kuuluvien tohtorikoulutettavien kokonaismäärä on noin 150. Heistä puolet on sivutoimisia jatko-opiskelijoita. Suuri osa sivutoimisista jatko-opiskelijoista työskentelee Teknologian tutkimuskeskus VTT:ssä, minkä lisäksi heitä on STUKissa ja teollisuudessa.

ENNUSTE tarjoaa kokonaisvaltaiset verkostoitumismahdollisuudet yli ydinenergia-alan tieteenalarajojen. Ydinenergian turvallinen käyttö edellyttää syvällistä tietoa, taitoa ja asiantunteumusta ydinvoimalaitoksen rakentamisesta, käytöstä, käytöstäpoistosta sekä ydinjätehuollosta läpi laitoksen elinkaaren, oli sitten kyse fissio- tai fuusioteknologista. Nykyisistä ja rakenteilla olevista laitoksista joudutaan Suomessa huolehtimaan vielä ainakin sadan vuoden ajan.

Varautuminen mahdollisiin neljännen sukupolven laitoksiin tai fuusiolaitoksiin edellyttää tieteellisen tutkimuksen eturintamassa olemista. Nuoret tutkijat pääsevät verkostossa kehittämään osaamistaan monipuolisesti niin laskennassa kuin kokeellisessakin toiminnassa, unohtamatta laajemman tason laitossuunnittelu- ja yhteiskunnallisia pulmia.

ENNUSTE-verkoston tärkein tavoite on luoda monitieteinen ympäristö ja yhteisö, jossa toh-

torikoulutettavat voivat taustaorganisaatiostaan riippumatta verkostoitua ja nähdä oman tutkimuksensa osana kansallisen ja maailmanlaajuisen tutkimustoiminnan kokonaisuutta. Ideoiden ja asiantuntemuksen vaihto ja leviäminen eri sektoreiden (yliopistot, tutkimuslaitokset, viranomaiset, teollisuus) välillä on hedelmällistä ydinturvallisuuden kehittämisen kannalta. Sekä kansallisten että kansainvälisten tutkimusinfrastruktuurien tehokas hyödyntäminen nostaa tutkimuksen tasoa. Erilliset ENNUSTEen järjestämät verkostoitumistilaisuudet sekä aktiivinen osallistuminen kansainvälisten verkostojen toimintaan tuovat uusia yhteistyö- ja kehitysmahdollisuuksia tohtorikoulutettaville.

Tutkimuksen tekijät

Tohtorikoulutus nojaa vahvasti diplomi-insinöörin ja maistereiden koulutukseen suomalaisissa yliopistoissa: ydinenergia-alalla on Suomessa hyvin vähän ulkomaisten yliopistojen kasvatteja. Tämä edellyttää ydinenergia-alan vahvaa läsnäoloa suomalaisten yliopistojen DI- ja FM-koulutuksessa, vaikka kyse onkin monialaisesta järjestelmästä. Opiskelijoita ala tuntuu kiinnostavan, mistä todistavat Lappeenrannan teknillisen yliopiston ydinvoimatekniikkaa pääaineenaan opiskelevien (vuosittain kymmeniä) sekä ydinenergia-alaa Aalto-yliopistossa sivuainepintoihinsa sisällyttävien opiskelijoiden (lähes sata) lukumäärät.

Tohtorikoulutus rakentuu pitkäjänteiselle perustutkimukselle, joka muodostaa vankan perustan tieteelliselle tutkimukselle, opetukselle ja myös teolliselle kehityks- ja innovaatiotoiminnalle. Tärkein tohtorikoulutuksen osa-alue on vahvassa tutkimusympäristössä tehtävä uutta luova tieteellinen tutkimustyö. Tutkimustyötä tukevat teoreettiset opinnot räättälöidään yleensä yksilöllisesti kunkin jatko-opiskelijan tavoitteiden mukaisesti.

Erityisesti luonnontieteellisillä ja teknillisillä aloilla kokopäiväinen tohtorintutkinnon suorittaminen tarkoittaa valtaosassa tapauksista työskentelyä jonkin yliopiston laitoksen tutkimusryhmässä palkattuna tutkijakoulutettavana. Panostus on merkittävä: 80 kokopäiväisen jatko-opiskelijan vuosittainen palkkasumma vastaa esimerkiksi koko SAFIR2018-ohjelman VYR-rahoitusosuutta.

Pitkäjänteisen ja riittävän vapaan tieteellisen tutkimuksen mahdollistavan rahoituksen varmistaminen onkin yksi tohtorikoulutuksen suurimmista haasteista. Korkea tieteellinen taso on mahdollista saavuttaa vain antamalla kunnianhimoisille ja asiansa osaaville tutkijoille mahdollisuus tehdä työtään myös tieteellisistä lähtökohdista.

Kansainvälistymisen haasteita?

Kansainvälinen yhteistyö ei itsessään ole tavoite vaan ennemminkin edellytys korkeatasoisen tieteellisen tutkimustyön tekemiselle. Vähintäänkin pitää olla ”oppinut” eli hyvin perillä siitä, missä tieteenalan eturintama on, ja mitkä kysymykset ovat ratkaisematta tai vielä kokonaan kysymättä.

Osallistuminen kansainvälisiin tieteellisiin konferensseihin ja omien tulosten asettaminen julkisen arvioinnin kohteeksi on tärkeä osa tutkijan ja sellaiseksi mielivän työtä. Tutustuminen muihin alan tai vähän toistenkin alojen tutkijoihin voi parhaimmillaan johtaa korkeatasoiseen tieteelliseen ajatustenvaihtoon ja myös yhteistyöhön. Oman työn tunnetuksi tekeminen ja muiden työn tunteminen avaa ovia myös laajempiin kansainvälisiin tutkimushankkeisiin.

Myös ”formaalia” verkostoitumista tarvitaan. Tutkimuspuolella EU:n rahoituksen suuntauksena tuntuu tällä hetkellä olevan panostaminen olemassa oleviin verkostoihin. Hyvä esimerkki tällaisesta verkostosta on EERA (European Energy Research Alliance), Saksaan rekisteröity yhdistys, jonka jäseninä on tutkimusorganisaatioita ja yliopistoja. EERAn sisällä toimivista omarahoitteisista laajoista tutkimushankkeista on suuri osa muotoutumassa EU:n H2020-ohjelman rahoitettaviksi hankkeiksi. EERAn vaikuttavuudesta todistaa EURATOM-työohjelman hankekukkuutus, joka on monilta osin yhtenevä EERAn piirissä luonnosteltujen tekstien kanssa.

Koulutuspuolella Euroopassa puhaltavat monenlaiset harmonisointia kohti vievät tuulet, eikä ydinenergia-ala tai sitä lähellä olevat alat ole poikkeus. Ammatillisessa koulutuksessa ECVET (European Credit system for Vocational Education and Training)-järjestelmä pyrkii harmonisoimaan ammatiossaamisen kuvauksia ja tasoja työvoiman liikkuvuuden helpottamiseksi. Tähän liittyviä hankkeita on myös ydinenergia-alalla ollut jo jonkin aikaa.

Yliopistotasoisien koulutuksen harmonisoinnista ollaan vielä kaukana, vaikka Bolognan prosessin avulla onkin onnistuttu samankaltaistamaan opiskelurakenteita. Tosin mm. Iso-Britannia ja Ranska ovat jättäneet diplomi-insinööri-koulutuksen näiden tavoitteiden ulkopuolelle, samoin kuin valtaosa EU-maista esimerkiksi lääkärikoulutuksen kohdalla.

Laajat kansainväliset hankkeet etenevät usein suurten maiden ehdoilla. Näin tulee kohtuullisella todennäköisyydellä tapahtumaan myös koulutuksen harmonisoinnin

AJANKOHTAISTA

kanssa EU:ssa, varsinkin jos pienet jättäytyvät päätöksenteon ja erityisesti valmistelun ulkopuolelle jo alkumetreillä. Näin ei onneksi Suomen ja ydinenergia-alan tapauksessa ole. Aalto-yliopiston, Lappeenrannan teknillisen yliopiston ja Helsingin yliopiston professorit ovat aktiivisesti mukana tärkeimmissä ydinenergia-alan tai sitä sivuavien alojen verkostoissa, monissa jopa hallituselimissä tai johdotehtävissä. Näiden verkostojen toimintaan ovat tervetulleita myös koulutuksen lopputuotteita hyödyntävät organisaatiot.

ENEN (European Nuclear Education Network) on 60 yliopiston, tutkimusorga-

nisaation ja teollisuusyrityksen yhdistys, joka edistää ja koordinoi lukuisia Eurooppalaisia ydinenergia-alan koulutushankkeita. Myös ydinjätteen loppusijoitusyhteisö on parhaillaan integroitumassa osaksi ENEN-verkosta. FUSENET (The European Fusion Education Network) on myös 60 organisaation yhdistys, joka tukee fuusioteknologian hankkeita. NRC Network (The European Network on Nuclear and Radiochemistry Education and Training) on uusi verkosto, joka toimii erityisesti ydin- ja radiokemian aloilla. Verkostot tekevät myös yhteistyötä keskenään.

Kaikki mukaan!

Suomessa koulutusyhteistyö yliopistojen, tutkimusorganisaatioiden, teollisuuden ja viranomaisten välillä toimii ainakin alaan perehdyttävässä täydennyskoulutuksessa, mistä YK-kurssi on loistava esimerkki. Aina voi toki tehdä enemmän ja paremmin. Loppukäyttäjien näkökulmasta korkeatasoinen yliopistokoulutus ydinenergia-alalla on – tai ainakin sen pitäisi olla – tärkeää. Haastankin kaikki organisaatiot miettimään, miten ne voisivat toimia entistä saumattomamman koulutusyhteistyön edistämiseksi!

Lisää aiheesta:

YTERA loppuraportti:

viesti.physics.aalto.fi/wp-content/uploads/2016/06/Ydintekniikan-ja-radiokemian-tohtoriohjelma-YTERA-2012_2015-Loppuraportti.pdf

Kansallinen strategia: www.tem.fi/files/40977/TEM_jul_17_2014_web_24092014.pdf

EERA: www.eera-set.eu/

ECVET: ec.europa.eu/education/policy/vocational-policy/ecvet_en.htm

European Nuclear Education Network, ENEN www.enen-assoc.org

The European Network on Nuclear and Radiochemistry Education and Training, NRC NETWORK www.cinch-project.eu

The European Fusion Education Network, FUSENET www.fusenet.eu



Keskitymme ydinasioihin

Lue Fennovoiman Hanhikivi 1 -hankkeen uusimmat kuulumiset Fennosesta.
fennonen.fi

Fennonen

STUKin tehtävät säteily- ja ydinturvallisuutta valvovana viranomaisena

STUKin toiminta-ajatuksena on ihmisten, yhteiskunnan, ympäristön ja tulevien sukupolvien suojele säteilyn haitallisilta vaikutuksilta.

Teksti: Petteri Tiippana, Kirsi Alm-Lytz **Kuvat:** STUK

STUK PERUSTETTIIN vuonna 1958. Alussa STUK oli pieni lääkintöhallituksen alainen Säteilyfysiikan laitos, jonka tehtävä oli tarkastaa sairaaloissa käytettävät säteilylaitteet. Vuosien kuluessa, tiedon lisääntyessä ja säteilyn- ja radioaktiivisten aineiden käytön yleistyessä STUK on saanut uusia tehtäviä. Tänäpäin STUK on täyden palvelun asiantuntijatalo säteily- ja ydinturvallisuusasioissa.

Ydinturvallisuusvalvonta tuli STUKin tehtäväksi 1960-luvun lopussa. Tuolloin STUKista tehtiin sosiaali- ja terveysministeriön alainen riippumaton turvallisuusviranomaisen, Säteilyturvakeskuslaitos. Vuonna 1984 nimi muutettiin Säteilyturvakeskukseksi. Samalla vakiinnutettiin käyttöön lyhenne STUK, jona Säteilyturvakeskus tunnetaan myös ulkomailla.

STUKin toiminta perustuu lakiin Säteilyturvakeskuksesta. Laki määrittää ensimmäisessä pykälässään STUKin tehtävän ja aseman: ”Säteilyn vahingollisten vaikutusten estämistä ja rajoittamista, säteilyn ja ydinenergian käytön turvallisuusvalvontaa sekä näihin liittyvää tutkimusta, koulutusta ja tiedottamista varten on sosiaali- ja terveysministeriön alainen Säteilyturvakeskus.” Säteilyturvakeskuksen toiminnan tavoite on, että suomalaisten säteilyaltistus pidetään niin pienenä sekä turvallisuus niin hyvänä kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista ja että säteily- ja ydinonnettomuudet estetään. STUKin valvonnan perusta on säteily- ja ydinturvallisuutta koskeva lainsäädäntö, turvallisuusmääräykset ja ohjeet.



TKL Kirsi Alm-Lytz

Johtaja, Ydinvoimalaitosten valvontaosasto
STUK
kirsi.alm-lytz@stuk.fi



DI Petteri Tiippana

Pääjohtaja
STUK
petteri.tiippana@stuk.fi

Ydinenergian käytön ja säteilytoiminnan valvonta

STUK valvoo ydinvoimalaitoksia, muita ydinlaitoksia, ydinmateriaaleja ja ydinjätteiden lopustuslaitoksia. Ydinlaitoksen luvanhaltija on velvollinen huolehtimaan laitoksen turvallisuudesta käyttämisestä ja ydinenergian tuottajat ovat vastuussa ydinjätteiden ja -materiaalien turvallisuudesta. STUK on valvova viranomaisen, jonka tehtäviin kuuluvat muun muassa osallistuminen lupahakemusten käsittelyyn, lupahakemusten noudattamisen valvominen ja tarkastusten tekeminen laitoksilla. Lisäksi STUK antaa yksityiskohtaiset määräykset (STUKin määräykset ja YVL-ohjeet) sekä valvoo määräysten noudattamista. STUK asettaa myös kelpoisuusehdot henkilöille, jotka toimivat vastuullisissa ydinturvallisuuteen liittyvissä tehtävissä.

STUK valvoo myös säteilyn käyttöä terveydenhuollossa ja teollisuudessa sekä tutkimuksessa ja koulutuksessa. Säteilyn käytöstä saatavan hyödyn pitää olla suurempi kuin siitä koitua haitta. STUK myöntää luvan säteilyn käyttöön ja tekee säännöllisesti tarkastuksia säteilynkäyttöpaikoilla. Lisäksi STUK valvoo radioaktiivisten aineiden kuljetuksia. Koska toiminnanharjoittajia on tuhansia, tarkastustoimintaa on kohdennettu suhteellisuusperiaatteen mukaisesti turvallisuuden kannalta olennaisimpiin kohteisiin. Koko kentän turvallisuuden varmistamisen kannalta olennaista on toiminnanharjoittajien hyvä turvallisuuskulttuuri, säteilyn käyttäjien osaaminen ja toiminnan ohjeistus, joihin STUK pyrkii vaikuttamaan hyvällä viestinnällä.

Turvajärjestelyillä turvataan ydinenergian ja säteilyn käyttö lainvastaiselta toiminnalta. STUK asettaa esimerkiksi ydinvoimalaitoksille ja säteilylaitteiden käyttäjille turvajärjestelyjä koskevat vaatimukset ja valvoo niiden toteuttamista.

Ympäristön säteilyvalvonta ja valmiustoiminta

STUKilla on ympärivuorokautinen päivystys ydinonnettomuuksien ja muiden säteilyvaaratilanteiden varalle. STUK on säteilyvaaratilanteissa asiantuntijaviranomaisen, joka tekee yhteistyötä muiden viranomaisen, järjestöjen ja asiantuntijoiden kanssa. STUK valvoo säteilyn esiintymistä ympäristössä. Suomessa on koko maan kattava 255 automaattisen säteilymittausaseman verkko, joka mittaa ulkoista säteilyä. Ulkoilman radioaktiivisia aineita mittaa yhdeksän asemaa ympäri Suomen. Jatkuvat toiminta valvontaa täydentävät ja varmentavat näytteet, joita otetaan ympäristöstä,

elintarvikkeista, juomavedestä ja luonnontuotteista sekä vesistöistä. Ydinlaitosten ja kaivosten ympäristöissä STUK tekee erityisen tehostettua ympäristövalvontaa.

Suurin osa ihmisen saamasta säteilystä on peräisin luonnosta. STUK valvoo työpaikoilla radonia ja valmistelee säädöksiä ja ohjeita kotien radonista. Radonin ohella auringon ultravioletti-säteily aiheuttaa merkittävän säteilyaltistuksen suomalaisille. STUK valvoo myös solariumien, matkapuhelimien, muiden säteilyä hyväksikäyttävien laitteiden ja sähkölinjojen säteilyturvallisuutta. Useita laitteita, kuten matkapuhelimia ja lasereita, valvotaan pistokokein markkinavalvontana. Solariumien käyttö on ollut vuodesta 2012 lähtien kielletty alle 18-vuotiailta. STUK valvoo solariumien käyttöä yhteistyössä kuntien terveydensuojeluviranomaisten kanssa muun muassa käyttöpaikkojen tarkastuksilla.

STUK valvoo ja kehittää suomalaisten säteilyturvallisuutta yhteistyössä kotimaisten ja ulkomaisten kumppanien kanssa

Tärkeitä kotimaisia kumppaneita ovat esimerkiksi eri ministeriöt: sosiaali- ja terveysministeriö terveyden ja ympäristöterveyden liittyvissä asioissa, ympäristöministeriö radon-turvalliseen rakentamiseen ja ympäristövalvontaan liittyvissä tehtävissä sekä työ- ja elinkeinoministeriö ydinvoimalaitosten luvutukseen ja valvontaan liittyen. Ulkoministeriön kanssa yhteistyötä tehdään erityisesti ydinsulkuvalvonnan alueella. Onnettomuusvalmiuteen ja säteilyvaaraan varautumiseen liittyvissä asioissa STUKin yhteistyökumppaneita ovat lähes kaikki valtionhallinnon toimialat ja ministeriöt,



mutta erityisesti sisäasianministeriö, pelastuslaitos ja poliisi.

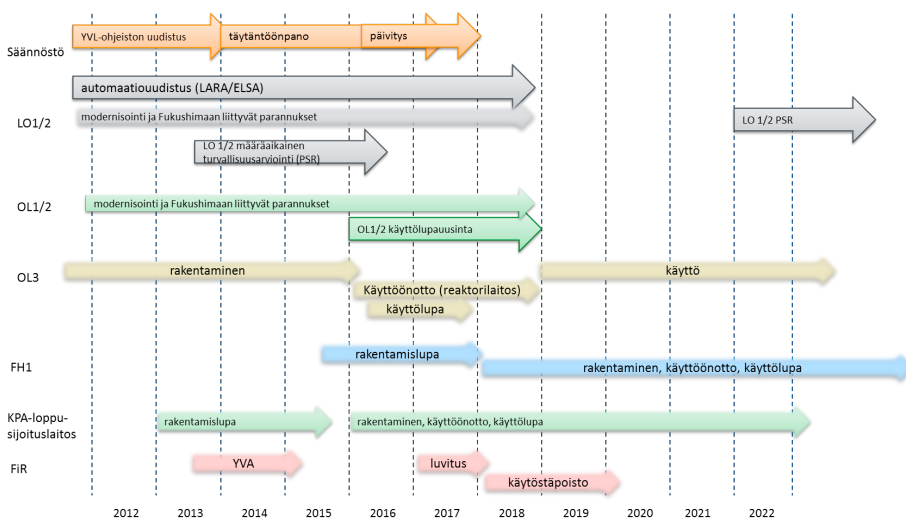
Kansainvälisessä yhteistyössään STUK pyrkii vaikuttamaan ja kehittämään ohjeistoja niin, että turvallisuus paranee myös maailmanlaajuisesti. Merkittäviä STUKin yhteistyökumppaneita ovat esimerkiksi Kansainvälinen atomienergiajärjestö IAEA ja OECD-maiden ydinturvallisuusjärjestö NEA. STUK on aktiivinen myös Euroopan unionin ja Euroopan Komission alaisuudessa tehtävässä eurooppalaisessa säteily- ja ydinturvallisuusyhteistyössä.

STUK valvoo ydinlaitoksia, ydinjätteitä ja ydinmateriaaleja, säteilytoimintaa, ympäristöä, kaivoksia ja ionisoimatonta säteilyä. STUKissa oli vuoden 2015 lopussa yhteensä 323 työntekijää. Noin 120 henkeä sijoittuu tällä hetkellä ydinvoimalaitosten valvontaosastolle ja noin 30 henkeä ydinjätteiden ja materiaalien valvontaan. Sekä säteilyn käyttöä että ympäristöä valvoo noin 60 henkeä.

STUKin rooli turvallisuustutkimuksessa Suomessa

Julkisrahoitteisella ydinenergian käytön turvallisuustutkimuksella on merkittävä tehtävä ydinteknisen osaamisen kehittämisessä ja ylläpitämisessä Suomessa. Ilman ydinturvallisuustutkimusohjelmaa (SAFIR) ja ydinjätehuollon turvallisuustutkimusohjelmaa (KYT) ei Suomessa olisi mahdollista kehittää viranomaisen tueksi tarvittavaa osaamista. Sekä STUKin että luvanhaltijoiden palveluksessa on useita henkilöitä, jotka ovat koulutautuneet ydinenergian käytön ja sen valvonnan asiantuntijatehtäviin Valtion ydinjätehuolto-rahaston rahoittamissa tutkimusohjelmissa. Turvallisuustutkimusohjelmissa on merkittävä koulutustehtävä myös niiden organisaatioiden osalta, jotka tuottavat STUKille teknisiä tukipalveluja kuten VTT, Helsingin yliopisto, Aalto Yliopisto, GTK, ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto. STUKin rooli on osallistua aktiivisesti tutkimuksen ohjaukseen tutkimusohjelmien johtoryhmissä, ohjausryhmissä ja tukiryhmissä.

Säteilyturvallisuustutkimuksen tekemisessä STUKilla on ollut pitkät perinteet, jotka katkesivat viime vuosien aikana toteutettuun tutkimuslaitosuudistukseen sekä hallinnonalan budjettileikkauksiin. Määrärahaileikkausten johdosta käytiin YT-neuvottelut ja uudistettiin organisaatiota. YT-neuvottelujen seurauksena STUKin toimintoja lopetettiin ja organisaatiota muutettiin kustannussäästöjen saavuttamiseksi sekä tuottavuuden ja tehokkuuden lisäämiseksi. Säteilyturvallisuustutkimuksen jatkumiseksi Suomessa STUK ja yhdeksän yliopistoa allekirjoittivat vuonna 2015 sopimuksen kansallisen säteilyturvallisuustutkimuksen yhteenliittymän muodostamiseksi. Yhteenliittymä on käynnistänyt toimintansa ja yhteistyössä luotavalla ja toteutettavalla kansallisella tutkimusohjelmalla tulee olemaan erittäin olennainen merkitys suomalaisen säteilyturvallisuusosaamisen kehittäjänä ja ylläpitäjänä.



Merkittävimmät ydinlaitosten valvontaprojektit Suomessa.

Suomalaisen kesimääräinen säteilyannos on 3,2 mSv vuodessa.

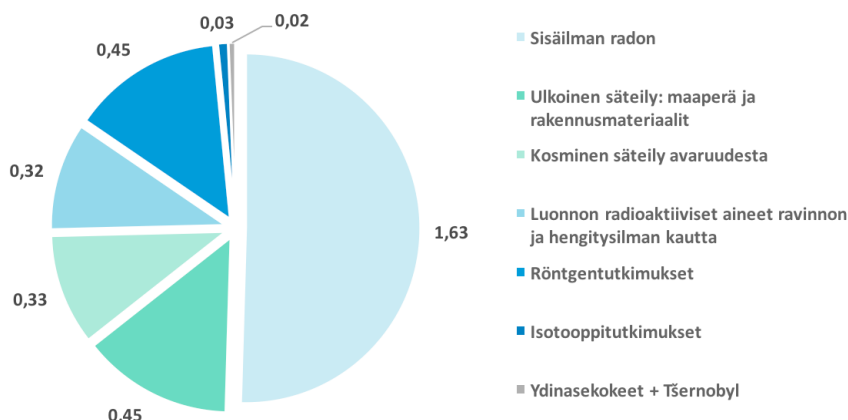
Mielenkiintoiset ajat ydin- turvallisuusvalvonnassa

Ydinvoimalaitosten valvonnassa on ollut paljon tekemistä viime vuosina eikä tulevaisuukaan näytä tylsältä. Suomi on suhteellisen pieni maa, mutta ydinlaitoksia on jokaisessa elinkaaren vaiheessa: suunnitteilla, rakenteilla, käytössä ja kohta myös käytöstäpoistovaiheessa, kun Otaniemen tutkimusreaktorin käytöstäpoistosuunnitelmat etenevät. Tämä luo omat haasteensa STUKinkin resurssien ja osaamisen suunnittelulle ja hallinnalle. Lisäksi STUK valvoo ensimmäisenä maailmassa rakennettavan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen suunnittelua ja rakentamista.

Tämän hetken haaste onkin, miten STUK pystyy vastaamaan valvontaresurssitarpeisiin seuraavien vuosien aikana. Lisäresurssija tarvitaan melkein kaikille tekniikan alueille. Uusien laitoshankkeiden lisäksi valvontaresurssija tarvitaan käyvien ydinvoimalaitosten ja Olkiluoto 3:n valvontaan. Olkiluoto 3 -projektin loppu häämöttää, projekti näyttää nyt etenevän päivitetyn aikataulun mukaisesti ja TVO toimitti huhtikuussa 2016 käyttöluupahakemuksen TEMiin.

Loviisan ja Olkiluodon käyvät laitokset otettiin käyttöön 1970–80-lukujen vaihteessa. Loviisan laitoksiköiden alkuperäistä 30 vuoden käyttöikää jatkettiin 20 vuodella jo edellisessä käyttöluupausinnassa vuonna 2007. Olkiluoto 1:n ja 2:n alkuperäinen käyttöikä, 40 vuotta, tulee täyteen seuraavassa käyttöluupausinnassa vuoden 2018 lopulla. Vanhenevat laitoksiköt, niiden ikääntymisen hallinta ja modernisointihankkeet tuovat omat haasteensa valvontaan. Suomessa on kuitenkin hyvä tilanne, sillä laitoksiin on tehty jatkuvasti turvallisuusparannuksia viime vuosikymmenten aikana. Suomalainen periaate pitää turvallisuusvaatimukset ajan tasalla uusien laitosten suunnittelua ajatellen, ja samalla tehdä täytäntöönpanopäätökset päivittyneistä vaatimuksista käyville ydinvoimalaitoksille on ollut toimiva käytäntö.

Resurssien kasvattamiseen ja uusien henkilöiden perehdyttämiseen kytkeytyy myös STUKin strategian yksi kulmakivistä. Strategian mukaisesti STUK jatkaa valvonnan kohdentamista ja kehittämistä turvallisuusmerkitykseen perustuen ja yhtenäistää tarkastustoimintaa. Stabiilissakin tilanteessa toiminnan harmonisointi ja resurssien oikea kohdentaminen on haaste. Suomen nykytilanteessa toiminnan ke-



hittämisen tärkeys vain korostuu ja STUKissa on jo aloitettukin useita turvallisuusmerkityksen mukaiseen luokitteluun, tarkastajien koulutukseen ja kokonaisvaltaisen turvallisuuskuvan muodostamiseen liittyviä hankkeita.

IRRS-arvio korosti STUKin riippumattomuuden tärkeyttä

Kansainvälisen atomienergiajärjestön (IAEA) IRRS-arviointi (Integrated Regulatory Review Service) kohdistuu pääasiassa viranomaisen tekemään valvontatyöhön ja onnettomuusvalmiustoimintaan. IRRS-arviointi tehtiin Suomessa syysyllä 2012. Arviointiryhmä totesi, että STUK on pätevä, uskottava ja avoimesti toimiva viranomainen. Arviointiryhmä totesi myös, että STUK pyrkii aktiivisesti edistämään valvontaa koskevan tiedon jakamista sekä kansallisesti että kansainvälisesti. Ryhmä ehdotti muun muassa, että STUKin asema riippumattomana viranomaisena kirjoitetaan Suomen lainsäädäntöön selvemmin. STUK sai ydinenergia- ja säteilylain muutosten seurauksena vuonna 2015 valtuudet asettaa sitovia määräyksiä sekä asettaa lupaehtoja ydinlaitosten lupavaiheissa. Lisäksi STUKin viranomaistehtävät ympäristön säteilyvalvonnassa ydinlaitosten ja kaivosten ympäristössä selkeytettiin.

IRRS-arvioinnin seurantamissio toteutettiin Suomessa kesäkuussa 2015. Siinä selvitettiin, miten Suomi on ottanut huomioon vuonna 2012 annetut suositukset. Arviointiryhmä totesi, että STUK on vahvistanut valvontatoimintaansa ja edistynyt merkittävästi toteuttamalla annetuista 29 suosituksesta 26. Arviointiryhmä antoi kaksi uutta suositusta liittyen säteilyturvallisuusosaamisen varmistamiseen Suomessa ja ydinlaitosten käytöstäpoistoa koskevan lainsäädännön selkeyttämiseen. Lisäksi ryhmä totesi, että Suomen valtion tulisi edelleen vahvistaa STUKin riippumatonta asemaa valvontaviranomaisena.

STUKlaisten osallistuminen ATS:n toimintaan pitäisi mahdollistaa jatkossakin

ATS:ssä käynnistettiin viime vuonna strategia, jonka tarkoituksena on linjata seuran toimintaa tulevaisuudessa. ATS:n johtokunnan mukaan työssä katsotaan seuran tavoitteita, toimintaa ja tekemisen tapoja perinteitä kunnioltaan mutta uutta ja muutoksia pelkäämättä. Joukossa on varmasti myös hyviäkin ehdotuksia ja ajatuksia, mutta uuden linjauksen mukaan tuodaan esille myös myönteistä suhtautumista ydinvoimatekniikan rauhanomaiseen ja turvalliseen hyödyntämiseen. STUKin toiminnassa riippumattomuus on yksi kulmakivistä eikä STUK ei voi olla mukana energiapolitiisessa keskustelussa. Lisäksi ATS:n johtokunnassa on pohdittu uuden normitoimikunnan perustamista, joka olisi STUKin näkökulmasta erikoinen toimikunta, kun STUK kuitenkin laatii suomalaiset riippumattomat viranomaisvaatimukset. Strategiatyön pohjalta STUKin johdon piti tehdä linjaus, etteivät STUKlaiset voi enää työajalla osallistua ATS:n toimintaan.

STUKin näkökulmasta ATS:n nykyisiin sääntöihin kirjoitetut yhdistyksen tarkoitukset edistää alan tuntemusta ja kehitystä Suomessa, toimia yhdysiteenä jäsentensä kesken kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi sekä vaihtaa tietoja ja kokemuksia kansainvälisellä tasolla ovat kannatettavia asioita. Verkostoituminen on tärkeää ja ATS:n järjestämät kokoukset ym. tilaisuudet ovat olleet STUKlaisillekin arvokkaita tiedonvaihtotilaisuuksia. Lisäksi ATS Ydintekniikka -lehti on tarjonnut hyvän katsauksen Suomen ajankohtaisiin aiheisiin. Toiveena onkin, että ATS jatkossakin keskittyisi tiedonvälittämiseen, eikä laajentaisi toimintaansa energiapolitiiseen keskusteluun, jolloin STUKlaistenkin osallistuminen toimintaan olisi mahdollista.

Tutkimustila ONKALOn ajotunneli ylittää noin 450 metrin syvyyteen



Posivan palveluliiketoiminta käyntiin

Ydinjätehuollon asiantuntijayhtiö Posiva Oy päätti vuoden 2015 loppupuolella paketoida osaamisensa palveluliiketoiminnaksi, jolla tähdätään niin kotimaisille kuin kansainvälisillekin markkinoille. Toiminnasta vastaamaan perustettiin tytäryhtiö Posiva Solutions Oy, joka näki päivänvalon kesäkuussa 2016.

Teksti: Mika Pohjonen **Kuvat:** Posiva



MMM Mika Pohjonen
Toimitusjohtaja
Posiva Solutions Oy
mika.pohjonen@posiva.fi

Suomalainen loppusijoitusosaaminen ja kokemus ovat maailman huippua

Suomessa käynnistettiin käytetyn ydinpoltoaineen loppusijoitukseen tähtäävä tutkimustyö noin 40 vuotta sitten. Marraskuussa 2015 Posiva sai ensimmäisenä ydinjäteyhtiönä maailmassa rakentamisluvan loppusijoituslaitokselle. Tämä merkitsee sitä, että Suomessa on suunniteltu loppusijoitusratkaisu, joka on yhteiskunnan kokonaisedun mukainen. Se on vahva signaali ulkomaille ja Posivan hanke herättääkin erittäin suurta kansainvälistä kiinnostusta.

Posivalle on kertynyt valtavasti ainutlaatuista monialaiseen tutkimukseen perustuvaa tietotaitoa. Tiivistetysti ilmaisten tärkein vientituotteemme onkin vuosikymmenten kokemus, jolla on ikään kuin sertifikaattina maailman ensimmäinen loppusijoituslaitoksen rakentamislupa.

Palveluliiketoiminnan aloittaminen juuri nyt on perusteltua, sillä monissa maissa selvitetään ja suunnitellaan käytetyn ydinpoltoaineen loppusijoitusta yhä intensiivisemmin. Jos jossain pystytään meidän avullamme käymään loppusijoitusratkaisun kehitys- tai toteutusprosessi läpi lyhyemmässä ajassa ja/tai tekemään selvityksiä ja suunnittelua tehokkaammin ja kohdennetummin, aikaa ja rahaa säästyy melkoisesti. Taloudellisia hyötyjä on siis helppo argumentoida.

Mitä Posiva Solutions siis myy?

Posiva Solutions keskittyy käytetyn ydinpoltoaineen loppusijoitukseen liittyvässä suunnittelu-, tutkimus- ja kehitystoiminnassa syntyneen tietotaidon myyntiin sekä konsultointiin. Konkreettisesti voimme myydä esimerkiksi paikanvalinnan suunnittelutyötä, paikkatutkimustyötä, turvallisuus- ja ympäristöselvityksiä,

ONKALOn teknisiä ratkaisuja ja aikanaan toivottavasti jopa loppusijoitukseen suunniteltuja teknisiä ratkaisuja ja laitteistoja. Myös ”ison kovan” konsultointi ja asiakkaiden omien suunnitelmien ja selvitysten arviointi kiinnostavat maailmalla.


Maanalaisella loppusijoituksella on jokaisessa maassa omat erityispiirteensä niin geologian, kansallisen lainsäädännön kuin loppusijoitushankkeen organisoinninkin osalta. Tästä huolimatta moni suomalainen oppi on sovellettavissa myös muihin maihin, sillä tavoite kaikissa on yhteinen, turvallinen käytetyn polttoaineen loppusijoitus ja siihen tarvittavat ratkaisut. Ajoituksen kannalta meistä on eniten hyötyä asiakkaille niissä maissa, joiden loppusijoitussuunnitelmat ovat ainakin alustavasti käynnissä. Pitkässä projektissa on kymmeniä vaiheita, joihin liittyvää osaamista voimme myydä.

Käykö kauppa?

Posiva on jo aiemmin harjoittanut pienimuotoista palveluliiketoimintaa, joten aivan tyhjää ei nyt ole tarvinnut lähteä. Muutamien ensimmäisten toimintakuukausien aikana onkin jo toimitettu pienempiä projekteja kaukasiinkin maihin sekä tehty yksi merkittävä tarjous Eurooppaan. Alustavia yhteistyökeskusteluja käydään useissa maissa.

Merkittävin sopimus solmittiin kuitenkin kotimaassa kesäkuussa, kun Fennovoima päätti hankkia Posiva Solutionsilta asiantuntijapalveluita oman loppusijoitushankkeensa eteenpäin viemiseen. Sopimus on pitkäaikainen ja takaa Fennovoimalle parhaan asiantuntumuksen heidän projektiinsa ja Posivalle tilaisuuden työskennellä uuden suuren hankkeen parissa ja näin ylläpitää ja edelleen kehittää osaamistaan ja resurssejaan.

Yhteistyö on voimaa

Suomalaisen loppusijoitusosaamisen myynti asiakkaiden käyttöön ei ole eikä tule olemaan Posiva Solutionsin sooloprojekti. Yhtiö haluaa tarjota palveluja asiakkailleen yhdessä laajan kotimaisen ja kansainvälisen yhteistyöverkoston kanssa. Vahvaa osaamista alalla löytyy niin Posivan omistajayhtiöistä, alan insinööritoimistoista kuin tutkimuslaitoksistakin. Osaaminen, kontaktit ja resurssit on järkevää yhdistää asiakaslähtöisesti kulloinkin sopiviksi kokonaisuuksiksi. Yhteistyö Posivan hankkeessa on ollut sen alusta asti tuloksekasta ja haluamme jatkaa sitä myös palveluliiketoiminnassa. 



ONKALOn selkeytyksellä erottaa kiintoaineet vedestä ennen veden pumppausta ylös maan pinnalle. Noin 450 metrin syvyydessä sijaitsevaan selkeytysaltaaseen valuu vettä tunnelista ja vedessä oleva kivi- ja maa-aines painuu altaan pohjalle. Veden vihreä väri johtuu merkkiaineesta.

MIKA POHJONEN, 52-vuotias maatalous- ja metsätieteiden maisteri, on Posiva Solutions Oy:n uusi toimitusjohtaja. Hänellä on yli 25 vuoden kansainvälinen kokemus energia-alalta. Pääosan urastaan hän on työskennellyt Fortumissa ja Pöyryssä suunnittelu- ja konsultointipalvelujen myynti- ja johtotehtävissä. Konsulttina hän on vastannut useista projekteista Posivalle ja kaikil-

le ydinvoimayhtiöille. Näistä ensimmäinen oli Olkiluoto 3:n ympäristövaikutusten arviointi 1990-luvun lopulla. Pohjonen on lisäksi tehnyt kymmeniä ydinvoimaan liittyviä projekteja Euroopassa ja Lähi-idässä sekä meritoitunut kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n kutsuttuna erityisasiantuntijana.

TVONS

Ydinvoimaosaamisen edelläkävijä

www.tvons.fi

Ydinvoiman kilpailukyky murenee Euroopassa

Euroopassa energiemarkkinoilla ja ydinvoimalla on yhteisiä haasteita. Energiemarkkina on murroksessa ja uusia kaupallisia tuotantoinvestointeja syntyy vain rajallinen määrä. Tilanne heijastuu myös ydinvoimakentämiseen ja -teollisuuteen.

Teksti: Kristiina Söderholm ja Simon-Erik Ollus

TUOTANTOMIELESSÄ ydinvoimatuo-
tannolta vaaditaan yhä enemmän
joustavuutta uusiutuvien lisätessä
osuuttaan ja kysyntäpuolen toimiessa yhä
aktiivisemmin markkinoilla. Länsimaissa ydinvoim-
an hyväksyttävyyden on myös heikko, mikä on
useassa maassa johtanut ylimitoitettuihin vi-
ranomaisvaatimuksiin sekä kohtuuttomiin fis-
kaalisiin velvoitteisiin, jotka nakertavat ydinvoim-
atuotannon kilpailukykyä. Tilanteen johdosta
ydinvoiman kasvu keskittyykin pääasiassa ke-
hittyviin talouksiin, missä ydinvoiman toimint-
ympäristö on vakaampi kuin taloudellisesti
kuin teknisiltä vaatimuksiltaan. Euroopassa
ydinvoima-alan tulisikin aktiivisemmin ajaa
EU:n ilmastotavoitteita tukevan ydinvoiman

kilpailukykyyn parantamista ja energiamaarkki-
nan tervehtymistä.

Euroopassa investoinnit uuteen sähköntuotantoon perustuvat tukiin

Energiamaarkkinat ovat murroksen edessä. Erilaiset poliittiset tavoitteet, muuttuva kulut-
tajakäyttäytyminen sekä teknologinen kehitys
haastavat energiamaarkkinoiden perinteisen
ja varsin vakaan toimintaympäristön. Ympäri
Eurooppaa sähkön tukumarkkinahinnat ovat
romahtaneet viimeisten vuosien aikana hei-
kon sähkön kysynnän sekä voimakkaan tue-
tun uusiutuvan energian tuotannon kasvun
takia. Sähköstä on lähes koko Euroopassa

merkittävä ylitarjonta ja sähkön tukkuhinta on
pohjamudissa. Esimerkiksi täällä pohjoismais-
sa sähkön systeemihinta oli realisesti viime
vuonna alhaisimmillaan kymmeneen vuoteen.
Sähkön tukkuhinnat ovat koko Euroopassa
niin alhaiset, että se on johtanut toimivien
kaasu- ja jopa ydinvoimalaitosten sulkemisiin
ennen elinkaaren loppua, puhumattakaan uu-
sien investointien kannustamisesta. Lisäksi ala
on leikannut ylläpitoinvestointeja minimiin.
Tilanne on kaikin puolin hyvin vaikea.

On hyvinkin perusteltua kysyä ovatko säh-
kömaarkkinat rikki? Voiko enää tehdä kau-
pallisia investointipäätöksiä sähkön maarkki-
nahintaan nojautuen? Viime vuosina uuteen
tuotantokapasiteettiin kohdistuneista inves-
tointipäätöksistä yli 80 % on perustunut tuo-
tantotukiin ja erityisesti uusiutuvan energian
kasvattamiseen. Tuuli- ja aurinkokapasiteetti
on kaksinkertaistunut vain viidessä vuodessa,
samalla kun perinteistä kapasiteettia on syn-
tynyt huomattavasti vähemmän kuin mitä on
poistunut järjestelmästä.

Tarvitaanko tehomaarkkina energiamaarkkinan rinnalle?

Tuotantotuet ovat kiistämättä edesauttaneet
varsin nopeata teknologian kehitystä, erityi-
sesti maatuulivoima- ja aurinkopaneelipuolel-
la, joita voi jo pitää kypsinä uusiutuvina
teknologioina. Etelä-Euroopassa hyvällä pai-
kalla sijaitseva aurinkopuisto ja lähellä Atlantin
rannikoita sijaitsevat, hyvien tuuliolosuhteiden
maatuulivoimalat ovat edullisinta mahdollista
uutta tuotantokapasiteettia, jota järjestelmään
tällä hetkellä voidaan rakentaa. Aurinko- ja
tuulivoima ovat kuitenkin luonteeltaan epä-
vakaata ja heikosti ennustettavaa tuotantoa,
ja niiden tuotannon ajoittaminen kulutuksen
mukaan on lähes mahdotonta. Samalla niiden
kasvava tuotanto heikentää ei-tuetun tuotan-
non kannattavuutta, ja on aiheuttanut vakavia
huolia sähkön toimitusvarmuudesta kaikissa
tilanteissa.

Tämän kehityksen johdosta keskustel-
laan useassa maassa tarpeesta luoda ener-
giamaarkkinan rinnalle kapasiteetti- tai te-
homaksumarkkina huolehtimaan riittävästä
toimitusvarmuudesta. Euroopassa kapasi-
teettimarkkinoita on jo olemassa Irlannissa,
Iso-Britanniassa, Portugalissa, Espanjassa,
Kreikassa ja Italiassa, ja nyt myös Ranska ja
Puola ovat valmistelemaan omia tehomaksu-
järjestelmiä. Tehomaksujärjestelmässä korva-
taan erikseen vakaan tehon saatavuudesta ja
erikseen tuotetusta energiasta.



VTM Simon-Erik Ollus

Johtaja, sähkökauppa ja tuotannonohjaus
Fortum
simon-erik.ollus@fortum.com



Tkt Kristiina Söderholm

Johtaja, ydinvoimateknologiat ja innovaatiot
Fortum
kristiina.soderholm@fortum.com

Artikkelissa esitetyt mielipiteet ovat kirjoittajien omia, eivätkä välttämättä edusta Fortumin näkemyksiä.

Tehomaksujärjestelmä on sinänsä toimiva, mutta kehitys on epälooginen. Ensin luodaan tuotantotuilla häiriöitä energiemarkkinoille, jotka pyritään korjaamaan uusilla tuilla häiriöistä kärsineille, mutta toimitusvarmuuden kannalta välttämättömille tuotantomuodoille. Johdonmukaisempaa olisi pyrkiä tuotantotukien poistamiseen kypsiltä uusiutuvilta teknologioilta ja antaa kaiken tuotannon kilpailla samoilla ehdoilla yksillä energiemarkkinoilla. Päästökauppajärjestelmä on taas taloudellisesti tehokkain tapa vähentää hallitusti kasvihuonekaasuja. Jos ilmastopolitiikkaa halutaan kiristää, johdonmukaista olisi nostaa päästötavoitetta rinnakkaisten tavoitteiden ja työkalujen synnyttämisen sijaan.

Joustavuuden arvo kasvaa

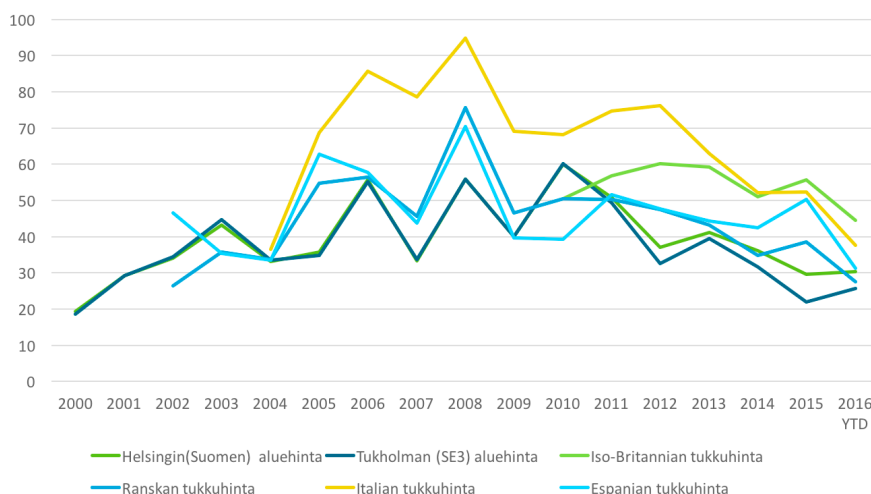
Uusiutuvan energian kasvu tulee joka tapauksessa jatkumaan ja ne tulevat kattamaan suurimman osan uudesta sähköntuotantokapasiteetista myös markkinaehtoisuuden vallitessa. Tämä tarkoittaa, että epävakaa uusiutuvan energian kasvu tulee vastaisuudessaakin muuttamaan yhä enemmän energiajärjestelmän luonnetta. Järjestelmässä joustavuuden tarve todennäköisesti kasvaa, riippumatta siitä onko energiamaarkkinoiden rinnalle luotu kapasiteettimarkkinat vai ei. Kehityksen johdosta CO₂-vapaan joustavan ja varastoitavan tuotannon kuten varastovesivoiman ja nopeasti kehittyvien eri varastointiteknologioiden suhteellinen arvo tulee todennäköisesti nousemaan.

Samoin kuluttajan rooli sähkömarkkinalla on jo lähtenyt kasvuun. Uudet teknologiat ja digitalisaatio tarjoavat kuluttajille uusia mahdollisuuksia osallistua sähkömarkkinoille niin omalla tuotannolla kuin kysyntäjoustollakin. Osa kuluttajista hankkii aurinkopaneeleita tai muuta pientuotantoa ja myy ylijäämätuotannon takaisin markkinalle. Samoin kiinnostus uusien digitaalisten kysyntäjoustopalveluita kohtaan kasvaa. Myös energia-intensiivisessä teollisuudessa kysyntäjoustoa hyödynnetään yhä enemmän. Tämä tarkoittaa, että kulutus tulee jatkossa yhä enemmän joustamaan tarjonnan mukaan ja kysyntäjoustopalveluksen merkitys osana energiajärjestelmää kasvaa.

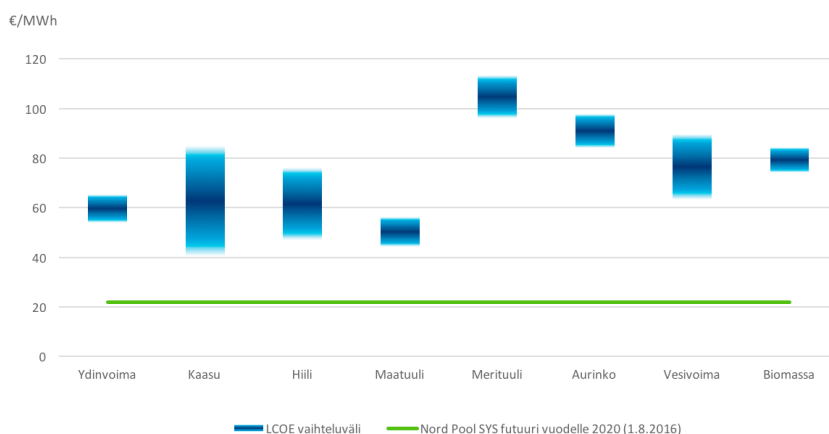
Ydinvoima osallistuu ilmastomuutoksen torjumiseen

Entä mikä on ydinvoiman rooli tässä muuttuvassa energiaympäristössä? Ydinvoima on lähes täydellinen tuotantomuoto. Se on vakaa tuotantomuoto, joka tukee energiajärjestelmän

€/MWh, reaaliarvo 2015



Sähkön hintakehitys 2000–2016.



Eri tuotantomuotojen kustannustasoja verrattuna pohjoismaiseen sähkönhintaan. Keskimääräinen tuotantokustannus kuvastaa alhaisinta vaadittavaa sähkön markkinahinnan, jolla investointi kannattaa sen elinaikana. Oheiset luvut eivät edusta Fortumin omaa kantaa keskimääräisistä tuotantokustannuksista.¹

toimintavarmuutta. Pohjoismaisessa energia-paletissa noin neljäsosa energiasta tuotetaan-kin tänään ydinvoimalla.

Ydinvoima on myös hiilidioksidipäästötön, ja sillä on myös merkittävä rooli ilmastonmuutoksen torjumisessa. Kansainvälinen energiajärjestö IEA onkin toistuvasti todennut, että ilman ydinvoimatuotannon merkittävää globaalia kasvattamista emme pysty rajoittamaan ilmaston lämpenemistä kahteen asteeseen. Ydinvoimaa tarvitaan lisää kattamaan maailman energiatarvetta päästöttömästi.

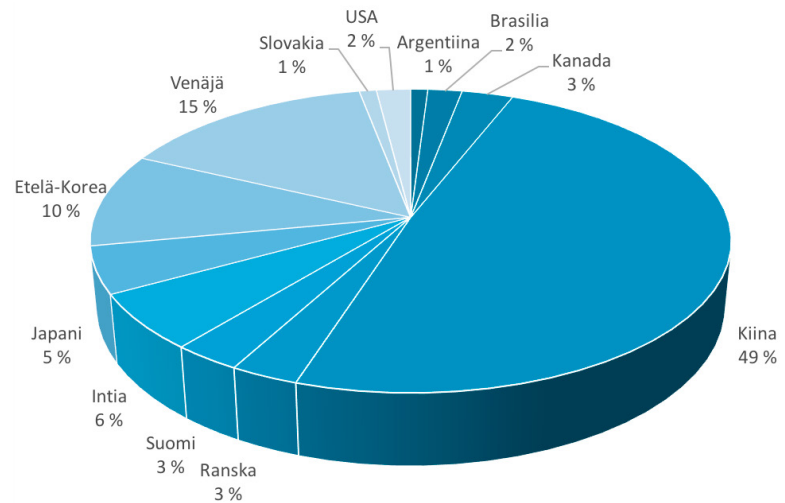
Ydinvoimatuotannon taloudellinen kilpailukyky heikentynyt

Ydinvoimalla on luonteeltaan myös haasteita tulevaisuuden energiajärjestelmässä. Länsimaissa ja erityisesti Euroopassa ydinvoiman kokonaistuotantokustannukset ovat viime vuosikymmenien aikana jatkuvasti nousseet samalla kun kilpailevien teknologien kuten uusiutuvien tuotantokustannukset ovat laskeneet.

Tuotantokustannusten nousua ovat ajaneet kiristyneet turvallisuusvaatimukset, eri maiden sääntelyn heikko standardointi sekä erilaiset fiskaaliset tavoitteet joita on vyörytetty ydinvoiman maksettavaksi. Ruotsissa tilanne on kärjistynyt niin, että viime vuonna toimijat päättivät neljän iäkkäämmän reaktorin ennenaikaisesta sulkemisesta kannattamattomina ja uhkasivat sulkea loputkin ellei maan hallitus luovu korotetusta ydinvoimaverosta. Alkukesänä Ruotsin hallitus päättikin luopua kyseisestä ydinvoimaverosta. On syytä muistaa, että Suomessakin vielä muutama vuosi sitten keskusteltiin lisäverosta mm. ydinvoimatuotannolle niin sanotun ”windfall-veron” merkeissä. Ydinvoima ei voi olla kohtuuttomien kustannusten maksaja, jos sen kilpailukyky halutaan vaalia.

Ydinvoima osaa joustaa

Teknisesti ydinvoima tuottaa sähköä tasaisesti ja sen käyttökustannukset ovat lähes muuttumattomat riippumatta sähköntuotannon määrästä. Iso osa kustannuksista syntyy laitokseen investoitaessa. Energiajärjestelmässä jatkossa kuitenkin lisääntyvän säariippuvaisen tuotannon johdosta joustavuuden tarve kasvaa, joka pätee myös ydinvoimatuotantoon. Uusiutuvien kasvaessa perusvoiman tarve tulee laskemaan ajan myötä. Tietty osa perusvoimaa mahtuu hyvin jatkossakin pohjoismaiseen energiajärjestelmään, mutta on varauduttava myös joustavampaan ydinvoiman operointiin.



Uuden ydinvoiman rakentaminen painottuu Aasiaan (Lähde: NX Uranium, Inc).

Pisimmälle energiajärjestelmän muutoksessa on menty Saksassa, jossa on asennettu tuuli- ja aurinkokapasiteettia yli keskimääräisen päiväkysynnän sekä annettu uusituvalle energialle etuoikeus tuotantoon. Tämä tarkoittaa, että aurinkoisena ja tuulisena päivänä muun tuotanto joutuu joustamaan ja antamaan tilaa uusiutuville. Tämän johdosta Saksassa osa ydinreaktoreista osallistuu päivän sisäiseen säätöön silloin kun tuuli- ja aurinkovoima täyttää lähes koko kysynnän. Samoin Ranskassa – kolme neljäsosaa sähköstä tuottavaa – ydinvoimaa on käytetty säätämiseen jo vuosia. Teknisesti reaktoreita voidaan joissakin tilanteissa säätää järjestelmän mukaan ottaen huomioon kunkin reaktorin rajoitukset. Taloudellisesti ydinvoiman säätäminen on kuitenkin huomattavasti vaikeampaa, koska kokonaiskulut ovat edelleen samat, vaikka niitä kattavaa perustuotantoa, ja sitä kautta tuloja tuottajalle, on vähemmän.

Ydinvoimalla haaste hyväksyttävyyden kanssa

Euroopassa yhteiskunnan suhtautuminen ydinvoimaan on hyvin jakautunut. On ydinvoiman alarajasta päättäneitä maita kuten Saksa tai ydinvoimaa vastustavia maita kuten Itävalta, ja on lisää ydinvoimaa rakentavia maita kuten Ranska, Suomi, Tšekki, Slovakia, Unkari, Puola ja Iso-Britannia. Moni maa on päättänyt välimaastoon käyttämään olemassa olevia laitoksia ilman suunnitelmaa uusien laitojen rakentamisesta. Fukushima onnettomuus sai tietyt maat pyörtämään päätöksensä ydinvoiman lisärakentamisesta, kuten Italian. Fukushima onnettomuus leimataan ennen

kaikkea ydinonnettomuudeksi eikä muisteta, että Fukushima oli yksi Japanin historian pahimmista tsunamideistä, jossa kuoli kymmeniä tuhansia ihmisiä. Ruotsissa kanta ydinvoiman jatkosta on tällä hetkellä epäselvä.

Euroopassa yleinen käsitys ydinvoimasta on useassa maassa kielteinen. Ydinvoimaa pelätään onnettomuuksien vuoksi ja se nähdään vanhanaikaisena joustamattomana tuotantomuotona verrattuna kasvavaan uusiutuvan tuotantoon. Kehityksen seurauksena ydinvoiman turvallisuusvaatimuksia on lähes kaikkialla jatkuvasti kiristetty, mikä samalla on nostanut ydinvoiman tuotantokustannuksia ja heikentänyt sen kilpailukykyä. Jos ydinvoima halutaan säilyttää oleellisena osana myös tulevaisuuden energiantuotantona, ydinvoima-alan onkin yhä aktiivisemmin osallistuttava yhteiskuntakeskusteluun ja tuotava omia näkemyksiä esille. Turvallisuudesta on ehdottomasti pidettävä huolta, mutta kohtuuttomiin vaatimuksiin ala ei voi sopeutua.

Uudet yksiköt EPR:ää pienempiä

Ydinvoimateknologia kehittyä, ja uudentyyppisiä reaktoreita syntyy. Uudet laitokset, joita Eurooppaan tällä hetkellä rakennetaan, on suunniteltu suurempaan säätöön kuin käytössä olevat laitokset, mikä parantaa ydinvoiman mahdollisuuksia osallistua energiajärjestelmän joustoon.

Ydinvoimalat ovat toistaiseksi kehittyneet tehomielessä yhä suurempaan suuntaan. Huippu on todennäköisesti saavutettu ja jättireaktorit, kuten Arevan EPR jota rakennetaan Olkiluotoon ja Flamanvilleen, ovat kasvaneet liian monimutkaisiksi hankkeiksi. Tällä hetkel-

lä suuntana ydinvoimaloiden kehityksessä onkin yksinkertaistus ja turvallisuuden takaaminen fysiikkaan perustuen. Yksinkertaistettuun suuntaan ollaan menossa niin isoissa kuin pienissäkin reaktorikonsepteissa.

Uuden mahdollisuuden ydinvoimalle tuovat pienet modulaariset reaktorit, joiden avulla ydinvoiman rooli voi muuttua tulevaisuudessa. Pienten modulaaristen reaktorien avulla voi ydinvoima vastata myös pienemmän, hajaautetun energiantuotannon tarpeisiin. Pieniä modulaarisia reaktoreita ollaankin kehittämässä maailmalla monissa maissa. Rakenteilla näitä on jo Venäjällä ja Argentiinassa. Kiinassa kaksi pientä laitospäätettä etenee ja ne aloittavat toimintansa todennäköisesti jo ennen vuotta 2020. USA:ssa edistynein konsepti on NuScale, joka hakee design-sertifikaattia konseptilleen viranomaisilta jo 2016 syksyllä.

Ydinvoima-alalla on herätty modulaarisuuteen viime vuosina. Osa uusista reaktoreista, kuten Westinghousen AP1000, rakennetaan jo suurelta osin modulaarisin menetelmin. Jotta modulaarisesta rakentamisesta ja modulaarisista konsepteista hyödyttäisiin, tulisi reaktorikonseptit suurelta osin standardoida. Tämä vaatisi kansainvälistä viranomaisvaatimusten yhtenäistämistä. Standardoidut osat laitoksesta voitaisiin rakentaa modulaarisesti etukäteen hyväksytyillä tehtailla ja tuoda laitospaikalle suurina kokonaisuuksina. Näin rakentamisaikaa saataisiin lyhennettyä ja kustannuksia laskettua, ja tuotteen laatu paranisi edelleen rakentamisolosuhteiden ansiosta. Modulaarisuus on mennyt pitkälle jo muussa rakentamisessa ja muilla teollisuuden aloilla. Niistä voi hyvin tuoda parhaita käytäntöjä ydinvoima-alalle.

Ydinvoiman globaali kasvu kehittyvissä talouksissa

Ydinvoimaa rakennetaan lisää. Tällä hetkellä käynnissä on yli 60 uutta reaktorihanketta. Suurin kasvu on Kiinassa, josta odotetaan myös ydinvoimateknologian ja investointien vientiä lähitulevaisuudessa. Kiinalaiset ovat rakentaneet lähes kaikkia reaktorityyppejä ja ovat kehittäneet niistä oman konseptinsa. Myös Intia, Korea ja Venäjä ovat ydinvoiman kasvuvaltioita, samoin kuin Lähi-Idän maat kuten Arabiemiraatit ja tulevaisuudessa mah-

dollisesti myös Saudi Arabia. Näissä maissa turvallisuusvaatimukset on pidetty kohtuullisella tasolla ja laitoksia rakennetaan usean yksikön sarjoissa, jolloin kustannukset saadaan sarjatuotannon ansiosta kilpailukykyiselle tasolle.

Suomessa meneillään olevat projektit ovat esimerkkejä Euroopan ydinvoiman kasvusta. Myös Ranskassa on rakenteilla yksi laitos, ja Iso-Britanniassa on useita projekteja valmisteltu jo pitkään. Tosin viimeisimmät poliittiset käänteet ovat aiheuttaneet viivästyistä pisimmälle vietyyn projektiin.

Harva ydinvoimainvestointi syntyy energiamarkkinaa nojautuen

Ei ole sattuma, että enemmistö uusista ydinvoimainvestoinneista syntyy kehittyviin talouksiin, joissa suuri osa energia-alasta on edelleen säännöstelty ja investoinnin takaisinmaksua turvaa kiinteä syöttötariffi, kiinteä sopimus teollisuuden kanssa tai valtion suora tuki. Ydinvoimainvestoinneissa, jotka ovat pääomavaltaisia ja teknisesti haastavia, ja hankkeilla on pitkät takaisinmaksuajat, markkinaehtoisuus edesauttaa markkinariskin hallintaa. Markkinariski ei sellaisena ole hallitsematon asia, jos energiamarkkinan annetaan toimia tehokkaasti ilman vääristymisiä. Nykytilanne Euroopassa on kuitenkin haastava.

Energiamarkkinoiden kasvanut epävarmuus on länsimaissa yksi merkittävä syy uusien hankkeiden vähäiseen määrään. On myös hyvä huomioida, että länsimaissa merkittävä osa ydinvoimakapasiteetista on rakennettu 70- ja 80-luvuilla, jolloin energia-ala oli vielä säännöstelty. Vain muutamat hankkeet Euroopassa perustuvat nykyisin pelkästään energiahintaan. Jopa energiamarkkinan vapauttamisen edelläkävijä Iso-Britannia on luovuttanut uusille ydinvoimahankkeille kiinteät syöttötariffit.

Yhteenveto

Euroopassa energiamarkkinoilla ja ydinvoimalla on yhteisiä haasteita. Energiamarkkinan kriisin takia uusia kaupallisia investointeja syntyy vain rajallinen määrä, mikä heijastuu myös ydinvoimarakentamiseen. Tilannetta parantaisi kypsän uusiutuvan energian tuotantotukien


poistaminen ja energiamarkkinoiden eheyttäminen, mikä parantaisi investointi-ilmapiriä kokonaisuudessaan. Nykyinen epävarmuus heikentää suoraan ydinvoimainvestointien kilpailukykyä.

Mikäli nykyinen epävarmuus jatkuu ja sähkön hinta pysyy kestävämmällä tasolla, on kapasiteettimarkkina vaihtoehtoinen ratkaisu toimitusvarmuuden turvaamiseksi Euroopan maissa. Riippumatta siitä, mihin lopputulokseen energiamarkkinamallin osalta päädytään, koko energiakenttää tulee tarkastella kokonaisuutena ja mahdollistaa kaikkien puhtaiden tuotantomuotojen kilpailu samoilla ehdoilla yksillä energiamarkkinoilla.

Euroopassa joustavuus tulee jatkossa olemaan entistä tärkeämpää energiamarkkinalla uusiutuvien lisätessä osuuttaan. Tämän vuoksi myös ydinvoiman joustavuuskysymykset tulee ratkaista ja löytää tapoja ydinvoiman osallistumiselle säätöön.

Länsimaissa ydinvoiman julkisuuskuva on heikko, mikä heijastuu alan yleiseen hyväksyttävyyteen. Heikko hyväksyttävyyden on useassa maassa johtanut ylimitoitettuihin viranomaisvaatimuksiin sekä kohtuuttomiin fiskaalisiin velvoitteisiin, mikä nakertaa ydinvoiman kilpailukykyä. Jossakin maissa yleinen mielipide on kääntynyt täysin ydinvoimaa vastaan ja laitoksentaan suljetaan. Ydinvoima-alaa vaivaakin pysähtyneisyys, vaikka julkisuudessa tulisi aktiivisesti käydä keskustelua ja perustella ydinvoiman etuja ja mahdollisuuksia. Suomessa tilanne on jonkin verran parempi, mutta kilpailuvyön ongelmat alkavat näkyä myös täällä.

Alan on myös vaadittava viranomaisvaatimusten harmonisointia. Nykyisin jokainen hankke ja laitos käsitellään yksittäisenä hankkeena, mikä lisää kustannuksia ja heikentää ydinvoiman kilpailukykyä. Viranomaisvaatimusten kansainvälinen harmonisointi on keskeistä kilpailuvyön parantamiseksi.

Länsimaiden tilanteen johdosta ydinvoiman kasvu keskittyy pääasiassa Aasiaan, missä ydinvoiman toimintaympäristö on vakaampi niin taloudellisesti, kun teknisiltä vaatimuksiltaan. Euroopassa ydinvoimalla voisi olla merkittävämpi rooli puhtaassa energiantuotannossa ja ilmastomuutoksen turvaamisessa. Ydinvoima-alan on kuitenkin pysyttävä jatkossa varmistamaan kilpailuvyönä, jotta se ei murene. 

¹ World energy council 2013, Cost of energy technologies / European PV Technology Platform Steering Committee, PV LCOE working Group: PV LCOE in Europe 2014–30, Final report / IRENA: Renewable power generation costs in 2014 / Fraunhofer: Levelised cost of electricity, Edition November 2013 / Elforsk report: Electricity from new and future plants 2014 / Lazard's Levelised cost of energy analysis 9.0



Suomen suurin savotta

Fennovoima täyttää ensi kesäkuussa tasavuosia – 10 vuotta. Juhlitsani itse ensimmäisiä tasavuosia Eurajoella syksyllä 1980, Suomessa silloin rakenteilla olleista neljästä reaktoriyksiköstä yksi odotti vielä kantaverkkoon kytkemistään myöhemmin samana syksynä. Ensi helmikuussa tulee Loviisa 1:n tahdistamisesta kuluneeksi 40 vuotta.

Teksti: Juha Miikkulainen **Kuvat:** Fennovoima Oy

YDINALAA ULKOPUOLELTA seuraavat ovat ajan saatossa oppineet, että ydinvoimalaitoksen voimanlähde on uraani. Fennovoiman historian aikana olen alusta asti päässyt seuraamaan konkreettisesti, että todellinen polttoaine uudishankkeelle on ollut laaja yhteiskunnan hyväksyntä, joka on saavutettu pitkäjänteisellä, avoimella ja informatiivisella sidosryhmätyöllä. Hankkeen kannatus Pyhäjoella ja ympäröivässä seutukunnassa nykyään ilmenee paikoin jopa voimakkaampana kuin kokeneimmilla paikkakunnilla Eurajoella ja Loviisassa.

Tällä hetkellä hankkeessa on meneillään kolme päätehtävää: sijoituspaikan ”ripsutus ja rapsutus” (entisen ministerin termin), rakentamisluvan hakeminen ja organisaation kehittäminen. Tässä artikkelissa keskityn ensin mainittuun, eli työmaan valmisteluun.

Hanhikivellä valmistaudutaan tulevaan

Pyhäjoella valmistaudutaan tällä hetkellä tulevaan. Kun Hanhikivi 1 -hankkeelle myönnetään rakentamislupa vuonna 2018, voidaan ryhtyä rakentamaan Suomeen uutta ydinvoimalaitosta ylöspäin montun pohjalta. Sitä ennen on kuitenkin paljon valmisteltavia töitä

tehtävänä, ja 700 000 kuutiometrin peruskaivannon pohjalle on vielä matkaa.

Tällä hetkellä käynnissä olevat työt pitävät sisällään erilaista maanrakennustyötä kuten tieyhteyksien viimeistelyä rakentamisalueella sekä kunnallistekniikan rakentamista. Lisäksi ensimmäisen pysyvän rakennuksen, eli koulutusrakennuksen työt ovat loppusuoralla ja rakennus otetaan käyttöön syksyn aikana. Koulutusrakennuksen kautta tulevat kaikki työmaalle töihin saapuvat kymmenettuhannelle henkilölle keskitetyksi kulkemaan saadaksesen kulkuluvan kaulaan.

Hanhikiven niemellä tehtävistä töistä Fennovoiman vastuulla on noin 200 miljoonan euron osuus, ja loput kuuluvat laitostoi-
mittaja RAOS Project Oy:lle. Fennovoiman omassa toimituslaajuudessa on infrarakentaminen sekä erilaisten tukirakennusten toteutus. RAOS Projectin pääurakoitsijana Pyhäjoella toimii venäläinen rakennusliike Titan-2, joka vastaa laitostoi-
mittajan alueella tehtävistä töistä.

Aliurakoita suomalaisille yrityksille

Titan-2 ei urakoi itse alueella, vaan he ovat solmineet aliurakointisopimuksia suomalaisten yhtiöiden kanssa. Suurimpina maarakennus-



DI Juha Miikkulainen

Kehityspäällikkö
Fennovoima Oy

juha.miikkulainen@fennovoima.fi

Havainnekuva Hanhikiveltä vuonna 2024.

urakoitsijoina heidän kauttaan alueella ovat toimineet Destia ja Andament Oy. Titan-2 on myös solminut sopimuksen valmisbetonin toimittamisesta oululaisen Ruskon Betoni Oy:n kanssa. Työmaan betoniasemien rakentaminen on parhaillaan viimeistelyvaiheessa kalajokisen Steel-Kamet Oy:n johdolla.

Titan-2:n seuraavan urakan, eli ydinvoimalaitoksen peruskaivannon kaivuu- ja louhintatyöt alkavat syksyn aikana. Urakoitsijana toimii Destia. Urakka-aikaa on noin puolitoista vuotta. Terramare on urakoinut ruoppaus- ja vesirakentamistyötä.

Urakoiden alihankintaketjuun on työllistynyt merkittävästi lähialueen rakennus- ja maansiirtoyrityksiä. Kaikkiaan työmaalla toimii tällä hetkellä yli sata yritystä, jotka ovat muutamaa lukuun ottamatta kaikki suomalaisia. Meneillään olevien ja lähiaikojen urakoiden kokonaisarvo ylittää sataan miljoonaan euroon. Vertailun vuoksi mainittakoon, että modernin hyötyvoimalan (lue: jätteenpolttolaitos) kokonaiskustannus pyörii samoissa lukemissa.

Laitostoimituksen pelisäännöt

Hankkeen edetessä muutaman vuoden kulluttua itse ydinvoimalaitoksen rakentamiseen Titan-2 vastaa mm. reaktori- ja turbiinisaa-

rekkeen sekä apurakennusten rakentamisesta Hanhikiven niemelle. Kaikki työt tehdään suomalaisten vaatimusten mukaisesti.

Alueella tehtävissä töissä otetaan myös ympäristöasiat tarkasti huomioon. Fennovoiman ympäristöseurannan lisäksi Titan-2 on tehnyt sopimuksen Nab Labs Oy:n kanssa pöly-, melu-, ja värinätasojen mittauksesta, sekä EHP-Tekniikan kanssa merivesien tarkkailusta.


Laitostoimituksen yhtenä keskeisenä tavoitteena on taata 20-luvun alkupuolella useisiin tuhansiin henkilötyövuosiin vuodessa nousevan kansainvälisen työmaan työrauha ja sujuva rakentaminen. Harmaan talouden torjuntaan on satsattu vuosikautia viranomaisten ja työmarkkinaosapuolten kanssa yhteistyössä. Hankkeen osapuolten allekirjoittamassa työmaasopimuksessa on etukäteen sovittu työmaan pelisäännöistä, joiden taustalla on tilaajavastuulaki. Työmaasopimuksessa korostuu, että Hanhikivellä noudatetaan suomalaista työ- ja verolainsäädäntöä sekä työehtosopimuksia.

Fennovoiman kehittämällä sähköisellä työmaarekisterillä hallinnoidaan kaikkia työmaan aliuurakoitsijoita ja työvoimaa. Järjestelmän avulla työmaan päivittäinen ja ajantasainen elektroninen valvonta tehostuu. Järjestelmän

kautta myös vero- ja työsuojeluviranomaiset saavat automaattisesti omassa valvontatyönsään tarvitsemansa raportit säännöllisesti.

Työpaikka, jossa viihdytään

Fennovoiman organisaatio kasvaa jatkuvasti. Tällä hetkellä yrityksessä työskentelee noin kolmesataa henkilöä, joista parisenkymmentä Pyhäjoella. Hankkeen edetessä organisaatio siirtyy Helsingin Salmisaaresta kohti työmaata. Asiantuntijoita rekrytoidaan Suomen lisäksi maailmalta: Fennovoimassa työskentelee tänään henkilöitä 17 eri maasta.

Moni työntekijämme on sanonut halunneensa töihin juuri Fennovoimaan, sillä täällä tehdään jotain sellaista, jota ei tule joka päivä vastaan. Työhyvinvointi onkin tärkeä asia Fennovoimassa ja sitä mitataan säännöllisesti. Viimeisimmän henkilöstötutkimuksen mukaan Fennovoimassa on parempi työviihtyvyys kuin suomalaisyrityksissä keskimäärin. Toteutamme henkilöstön Pulse survey -kyselyä kolmesti vuodessa ja kehitystrendi on ollut sen koko toteuttamisen ajan, noin kaksi vuotta, aina positiivinen. 

Lue lisää hankkeen etenemisestä: www.fennonen.fi

Hanhikiven työmaan tunnuslukuja

0231 työmaarekisteriin luvittua yritystä, joista

0223 suomalaista yritystä 61 eri paikkakunnalta

0150 yritystä sopimussuhteessa tällä hetkellä

0180 henkilöä työmaan päivittäinen vahvuus

0300 työmaan huippuvahvuus syksyllä 2016

1255 tulokoulutuksen läpäissyttä henkilöä, joista

1175 suomalaisia.



Etualalla koulutusrakennus ja taka-alalla työmaa Hanhikiven niemen kärjessä.

Olkiluoto 3:n käyttölupahakemus

Teollisuuden Voima Oyj (TVO) jätti 14.4.2016 työ- ja elinkeinoministeriölle (TEM) Olkiluoto 3 -laitosyksikön (OL3) käyttölupahakemuksen. Hakemuksen kohteena oleva ydinvoimalaitosyksikkö OL3 on EPR-tyyppinen painevesireaktorilaitos (European Pressurized water Reactor), jonka nimellislämpöteho on 4 300 MW. Lisäksi hakemus kattaa voimalaitosyksikön tarvitsemat ydinpolttoaineen ja -jätteen käsittely- ja varastointitoiminnot Olkiluodon saarella käytetyn polttoaineen loppusijoitusta lukuunottamatta. Tässä artikkelissa kuvataan lyhyesti hakemuksen rakennetta ja menettelyjä, joilla käyttölupahakemus laadittiin.

Teksti: Mikko Lemmetty ja Juha Poikolainen **Kuvat:** TVO

OLKILUOTO 3 -LAITOSYKSIKKÖ on ollut ydinenergialain vaatimusten mukaisesti valtakunnan ylimpien päätöksentekijöiden pöydällä jo useita kertoja. TVO jätti marraskuussa 2000 valtioneuvostolle periaatepäätöshakemuksen uuden ydinvoimalaitosyksikön rakentamisesta. Valtioneuvosto teki asiasta myönteisen päätöksen 17.1.2002 ja eduskunta vahvisti sen 24.5.2002. Periaatepäätöksen mukaan ydinvoimalaitosyksikön rakentaminen on yhteiskunnan kokonaisedun mukaista. Tarjouskilpailun jälkeen TVO teki joulukuussa 2003 investointipäätöksen teholtaan noin 1 600 MWe:n painevesireaktorilla varustetun laitosyksikön rakentamisesta Olkiluotoon. Varsinainen ydintekninen rakennustyö käynnistyi vuonna 2005, kun valtioneuvosto oli myöntänyt laitosyksikölle rakentamisluvan. Myös käyttölupa-aineistokokonaisuuden ko-

koaminen käynnistettiin jo rakentamisen varhaisessa vaiheessa. Koska käyttölupa-aineisto sisältää lähes kaiken laitostason suunnitteluaineiston ja suurimman osan turvallisuusluokiteltujen järjestelmien järjestelmätason suunnitteluaineistosta, käyttölupa-aineisto on täydentynyt ja täsmäntynyt laitoksen suunnittelun ja rakentamisen edistyessä.

Suomalaisessa ydinvoimalaitosten luvitusprosessissa varsinainen käyttölupahakemus jätetään TEM:lle, joka pyytää hakemuksesta lausunnon Säteilyturvakeskukselta (STUK). Varsinainen lupahakemus on yhden sivun mittainen paperi, jonka liitteenä on muutamia satoja sivuja teknistä aineistoa sekä noin mapillinen hakijan tilinpäätöksiä ja toimintakertomuksia. Teknisessä mielessä mielenkiintoista onkin nimenomaan se aineisto, joka hakemuksen jättämisen yhteydessä toimitetaan STUKin tarkastettavaksi.

STUK-aineisto

STUKille käyttölupahakemuksen yhteydessä toimitettava aineisto on määritelty varsin tarkasti ydinenergia-asetuksessa ja tätä tarkentavissa YVL-ohjeissa, joista tärkein on YVL A.1 Ydinenergian käytön turvallisuusvalvonta. Koska ohjetta ei ole pantu vielä täytäntöön laitosyksiköllä OL3, noudatettiin OL3-käyttölupahakemuksen kokoonpanossa kuitenkin aiempaa ohjetta YVL 1.1 Ydinlaitosten turvallisuuden valvonta.

Yhteensä STUK-aineisto koostui noin 2 300 asiakirjasta, joista laitostoimittajakonsortio laati noin 1 800. Loput asiakirjat olivat TVO:n itse laatimia tai alihankintana teettämiä.

Laajin yksittäinen käyttölupahakemusasiakirja on lopullinen turvallisuusseloste (FSAR). Vaikka suomalaiset viranomaisvaatimukset aineiston tietosisällöstä ovat monilta osin hyvin tarkkoja, ne jättävät aineiston laatijoille varsin suuren vapauden valita, millaisella asiakirjarakenteella aineisto toimitetaan. Olkiluoto 3 -laitosyksikön tapauksessa oli jo projektin varhaisessa vaiheessa tehty päätös noudattaa turvallisuusselosteen osalta Yhdysvaltain ydinturvallisuusviranomaisen (NRC) perusratkaisua, jota on muokattu projektin kuluessa vastaamaan suomalaisia vaatimuksia. Tärkein ero NRC:n perusratkaisuun verrattuna on se, että turvallisuusselosteen yleinen osa kuvaa järjestelmät vain yleispiirteisesti. Varsinainen järjestelmäsuunnittelu esitetään turvallisuusselosteen järjestelmäkuvaavuuksissa, joita täydentävät suunnittelijan ja luvanhaltijan turvallisuusarviot sekä järjestelmien virtauskaaviot ja sähkötekniiset piirustukset.



TkT Mikko Lemmetty
Laitosturvallisuusasiantuntija
Teollisuuden Voima Oyj
mikko.lemmetty@tvo.fi



DI Juha Poikolainen
OL3 ydinturvallisuuspäällikkö
Teollisuuden Voima Oyj
juha.poikolainen@tvo.fi



OL3-laitosyksikkö syksyllä 2015. Työt ovat siirtyneet pääosin laitoksen sisäpuolelle.

Turvallisuusselosteen aihekohtaiset raportit sisältävät aineistoa, jota ei ole katsottu aiheelliseksi liittää järjestelmäkuvauksiin tai ydinenergia-asetuksessa vaadittuihin asiakirjoihin, mutta joka sisältää viranomaisen käyttölupahakemuksen liitteeksi edellyttämiä tietoja. Tavanomaisten analyysien ja laskentaohjelmia käsittelevien raporttien lisäksi tämä asiakirjaryhmä sisältää myös useimmat

laitoksen suunnitteluperusteita käsittelevät asiakirjat.

Aineiston laajuuden vuoksi on ollut välttämätöntä pitää tiivistä yhteyttä säteilyturvakeskukseen valmisteluprosessin aikana. Yhteydenpidon tärkeimpänä muotona on ollut noin kerran kahdessa kuukaudessa pidetty käyttölupa-asioiden kokous. Kokouksessa TVO:n ja laitostoimittajan asian-

tuntijat ja luvitusprosessista vastuulliset päälliköt ovat käsitelleet ajankohtaisia kysymyksiä yhdessä viranomaisen edustajien kanssa ja saaneet näiltä ohjausta.

Jo useita vuosia ennen käyttölupahakemuksen jättämistä todettiin, että on mielekasta toimittaa osa aineistosta viranomaiselle jo ennen käyttölupahakemuksen virallista jättämistä. Tämän vuoksi merkittävä osa käyttölupa-aineistosta toimitettiin viranomaiselle vuosien 2013–2015 aikana tiedoksi. Jotta aineisto olisi ollut käsiteltävissä mielekkäällä tavalla, se ryhmiteltiin tällöin lopullisen turvallisuusselosteen päälukujen mukaan ja toimitettiin pääluvun sisältöä vastaavina aineistopaketteina. Esimerkiksi aineistopaketti 4 – Reaktorin – sisältää kaikki reaktorisydäntä, polttoainetta ja näihin liittyviä analyysejä käsittelevät asiakirjat riippumatta siitä, mihin osaan FSAR:ia nämä turvallisuusselosteen sisällysluettelon mukaan kuuluisivat.

Viranomainen käsiteli aineiston tiedoksi tullessa ja antoi sille toimitetusta aineistosta epäviralliset kommenttinsa, jotka on pääsääntöisesti otettu huomioon lopullisessa käyttölupa-aineistossa.

Kirjoittajat ja laitostoimittajakonsortion luvituksesta vastaavat henkilöt yhteiskuvassa. Vasemmalta lukien Mikko Lemmetty, Markus Nie, Ulrich Klapp ja Juha Poikolainen.



STUKille toimitetun aineiston niputus

Tunnus	Aihepiiri
0	Sisällysluettelo
1	Yleiskuvaus
2	Laitospaikka
3	Suunnitteluperusteet
4	Reaktorisydän
5	Primääripiiri
6	Suojarakennus ja pääturvallisuusjärjestelmät
7	Automaatio
8	Sähköjärjestelmät
9	Apujärjestelmät
10	Turbiinisaareke
11	Ydinjätehuolto
12	Säteilysuojelu
13	Käyttötoiminta
14	Käyttöönotto
15	Onnettomuusanalyysit
16	Turvallisuustekniset käyttöehdot
17	Laadunhallinta
18	Käyttöliittymä
19	PRA (neljässä alapaketissa)
20	Käytöstäpoistosuunnitelma
SEKA	Sekalaiset asiakirjat

OL3-työmaa kesäkuussa 2004. Rakentamislupaa ei ole vielä myönnetty, ja käynnissä ovat vasta valmistelvat työt.



Käyttölupahakemusaineisto on erittäin laaja ja sen käsittely fyysisessä tai elektronisessa muodossa on työlästä. Koska käyttölupahakemusaineiston ennakkotarkastuksen yhteydessä käytetty pakettijako oli havaittu erittäin toimivaksi, päädyttiin käyttämään tätä aineistojakoa myös varsinaisen käyttölupahakemuksen toimituksessa. Näin ollen käyttölupa-aineistoa käsiteltiin noin 20 pakettina, kuten esitetty oheisessa taulukossa, jotka jaoteltiin lopullisen turvallisuusselosteen yleisen osan päälukujen mukaan. Lisäksi varattiin käyttöön yksi paketti, johon sijoitettiin mahdollisesti muista paketeista pois jääneet asiakirjat. Tällä varauduttiin mahdollisiin virheisiin aineiston kokoamisessa. Loppujen lopuksi asiakirjapakettiin päätyi vain muutamia vähämerkityksisiä asiakirjoja, mutta sen olemassa olo antoi toiminnalle joustavuutta.

Kullekin paketille kirjoitettiin tarkastusmuistio, jossa käsiteltiin aineiston:

- valmiusaste;
- viranomaisen asiakirjoista ja niiden aiemmista versioista aiemmin antamat päätökset;
- aineistoon kohdistuvat viranomaisen avoimet vaatimukset ja TVO:n vastaukset näihin;
- TVO:n asiakirjoista löytämistä pienistä puutteista (esim. kirjoitusvirheet) tekemät havainnot.

Huomattavaa on, että aineisto ei pääasiallisesti ole viranomaisen kannalta täysin uutta, sil-

lä ehdoton valtaosa aineistosta on hyväksytty aiemmin joko laitos- tai järjestelmäsuunnittelun käsittelyn yhteydessä. Tämän vuoksi tarkastusmuistioissa ei ollut tarpeen käsitellä järjestelmätason suunnittelun hyväksyttävyyttä. Kyseiset arviot esitettiin järjestelmäkohtaisesti suunnittelijan ja luvanhaltijan turvallisuusarvioissa. Vastaavalla tavalla eräistä laajoista aihepiireistä, esimerkiksi deterministisistä onnettomuusanalyseistä ja todennäköisyyspohjaisesta turvallisuusanalyysistä, kirjoitettiin omat tekniset tarkastusmuistionsa.

Käyttölupa-aineiston toimittamistavasta sovittiin viranomaisen kanssa hyvissä ajoin. Sopimuksen mukaisesti aineisto toimitettiin viranomaiselle sähköisenä, mutta valmiuskäyttöä varten viranomaiselle toimitettiin yksi täydellinen paperinen aineistosarja. Poikkeuksena sähköiseen toimitukseen olivat tietyt aineistotyytit, joiden käsittely on mielekkäintä tehdä paperilla. Varsinainen aineistotoimitus tapahtui kevättalvella 2016 toimituspaketeittain sitä mukaa, kun aineisto oli saatu tarkastettua ja tulostettua. Jokaisesta aineistopaketeista laadittiin oma lähetekirjeensä, minkä lisäksi myös jokaisesta ydinenergia-asetuksessa mainitusta asiakirjasta laadittiin oma erillinen lähetteensä. Lisäksi suurimmat paketit jaettiin alapaketteihin käytännön syistä; STUKin sähköinen asiantuntijajärjestelmä ei toimi ongelmitta, mikäli toimitettavassa kirjeessä on merkittävästi yli sata liitettä.





Pieni osa käyttöluopakemusaineistosta odotetussa lähettämistä maaliskuussa 2016. Hyllyllä näkyvät tyhjät kohdat ovat jo lähtneiden aineistopakettien kohdilla. Yhteensä aineistoa oli n. 25 hyllymetriä.

Käyttöluopakemuksen jättämisen jälkeen

Kaikki aineistopaketit saapuivat viranomaiselle 14.4.2016 mennessä. Tämän jälkeen viranomaiselle on toimitettu joukko täydennyskirjeitä, joilla on korjattu yksittäisiä virheitä käyttöluopakemusasiakirjojen toimituksissa (esimerkiksi väärä asiakirjaversio) tai päivitetty dokumentteja laitoksen konfiguraationhallintasuunnitelman mukaisesti seuraavaan suunnittelukonfiguraatiovaiheeseen.

OL3-laitosyksikkö helmikuussa 2008 länsipuolelta kuvattuna. Turbiinihallin katto- ja seinärakenteet hahmottuvat vasemmalla puolella. Oikeassa reunassa näkyy raskas nosturi sekä polttoainerakennuksen ja suojarakennuksen rakenteita. Etualalla hahmottuvat turvajärjestelmärakennuksen ja dieselrakennuksen pohjat.




OLKILUOTO 3 edustaa nykyisiin laitoksiin verrattuna evoluutiotyyppeä, jonka perusratkaisut pohjautuvat käytössä olevien laitosten käytännössä koeteltuun tekniikkaan. Kehityksen esikuvina ovat olleet ranskalainen N4-laitostyyppi ja saksalainen Konvoi-laitostyyppi. Erityisesti turvallisuusomaisuuksia on edelleen kehitetty. Suunnittelussa on otettu huomioon esimerkiksi turvallisuuskriittisten järjestelmien yhteisviat, vakavien reaktorionnettomuuksien hallinta (sulaneen sydämen hallinta) sekä suuren lentokoneen törmäys (reaktorirakennuksen kaksoiseinä).

Turvallisuuden lisäksi Olkiluoto 3 -laitosyksikön suunnittelussa on kiinnitetty erityistä huomiota taloudellisuuteen. Muun muassa laitosyksikön hyötysuhde, runsaat 37 %, on noin neljä prosenttiyksikköä suurempi kuin alun perin Olkiluodon nykyisillä laitosyksiköillä. Voimalaitosyksikön suurimpien rakenteiden ja laitteiden suunnittelun lähtökohdaksi on käytetty vähintään 60 vuoden käyttöikä ja helpommin vaihdettavien rakenteiden ja laitteiden osalta vähintään 30 vuotta. Varautumalla ennalta rakenteiden ja laitteiden uusintaan on laitoksen mahdollista päästä taloudellisesti vähintään 60 vuoden toiminta-aikaan.

Kevään ja alkukesän 2016 aikana STUKin käsittely on kirjoittajien tietojen mukaan keskeytynyt erityisesti aineiston kattavuudesta varmistumiseen. Kirjoittajille ei ole tullut tietoa, että merkittäviä puutteita olisi havaittu.

Käyttöluopakemusaineisto käsittää lähes kaiken ydinsaarekkeen laitos- ja järjestelmätason suunnitteluaineiston sekä merkittävän osan turbiinisaarekkeen suunnitteluaineistos-

ta. Tämän kaltaisen dokumenttimassan laatiminen ja kokoaminen viranomaisvaatimukset täyttäväksi kokonaisuudeksi on äärimmäisen laaja hanke, joka vaatii kaikkien laitosprojektiin osallistuvien tekniikanalojen yhteistyötä. Kirjoittajat esittävät tämän vuoksi omasta puolestaan lämpimät kiitokset hyvästä yhteistyöstä kaikille OL3-käyttöluopakemusaineiston laadintaan ja käsittelyyn osallistuneille. 

OL3-laitosyksikkö kesällä 2010. Suojarakennus on lähes valmis ja raskaiden primäärikomponenttien siirtoon tarvittavaa nosturia kootaan polttoainerakennuksen vasemmalla puolella. Kuvan keskellä vasemmalla näkyy matalahko jäterakennus, jonka takana kohoavat polttoainerakennus ja tämän oikealla puolella turvajärjestelmärakennukset. Keltaisen nosturin oikealla puolella erottuu dieselrakennus. Turbiinirakennuksen seinät on jo lämpöeristetty.





IAEA – tekninen järjestö palvelemissa poliittisia tarkoituksia

Kun ajoin vanhan Saab 99:ni joulukuussa 1982 Finnjetin porteista sisään, oli edessä pitkä matka Travemündestä Wieniin. Mutta matkasta tulikin paljon pitempi kuin oletin; itse asiassa matka jatkuu edelleen. Näppäilen näitä rivejä Georgetownissa, Washington D.C.:ssa Potomac-joen rannalla.

VUONNA 1983 IAEA eli voimakasta kasvun aikaa. Ydinsulkusopimus oli astunut voimaan kymmenen vuotta aiemmin ja uusia ydinainevalvontasopimuksia solmittiin liukuhihnalla. Talo oli äskettäin siirtynyt uusiin tiloihin Wienin keskustasta Tonavan rannalle, jossa se on nykyäänkin. Three Mile Islandin onnettomuuden jälkeen ydinvoimalla oli edessään uusi ruusuinen aika. Voimalaitoksia rakennettiin erityisesti Euroopassa ja Kaukoidässä. Saksassa suunniteltiin jälleenkäsittelylaitoksen rakentamista Wackersdorfiin, Japanissa valmistauduttiin plutoniumin uudelleen kierrättämiseen sekä nopeissa hyötöreaktoreissa että kevytvesi-reaktoreissa, URENCO laajensi uraanin rikastustoimintaa.

IAEA:n sisällä tämä merkitsi valvontaosaston, safeguards departmentin, voimakasta laajentamista. Väkeä palkattiin lisää, tarkastustoiminta kasvoi, laitteita ja valvontamenetelmiä kehitettiin. IAEA avasi paikallistoimiston Tokioon, jonne minäkin siirryin kesällä

1984 parin vuoden ajaksi. Vuosikymmenen loppuun mennessä tilat Tonavan rannalla alkoivat tulla niin ahtaiksi ja kehitystoimintaan huonosti soveltuviksi, että tiloja alettiin etsiä muualta. Yksi ehdokkaista oli armeijalta vapautuneet Rossauer-kasarmit Wienin keskustassa. Mutta tällöin alkoivat myös uudet tuulet puhaltaa.

Tarkastustoiminta muutoksien äärellä

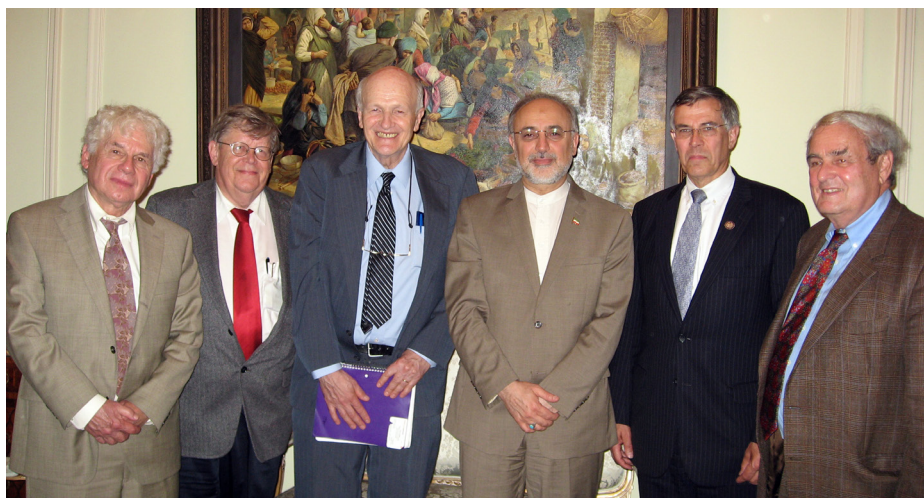
Ensimmäiset pilvet taivaalle toi Tuwaitan reaktorin pommittaminen Irakissa 1982. Israelin argumenttina oli, että Saddam itse asiassa suunnitteli ydinaseen rakentamisista, jossa Tammuz-reaktorilla oli keskeinen osa. Vaikka IAEA sitä valvoi, Israelin mielestä ei voitu pitkällä tähtäimellä taata, että reaktoria ei käytetä plutoniumin tuottamiseen asetarkoitukseen. IAEA:n tarkastustoiminnan tehokkuus kyseenalaistettiin, mutta suurempi huoli oli ydinsulkusopimuksen artikkeli, jonka perus-

teella maa voi irtautua sopimuksesta niin halutessaan ja vieläpä lyhyellä aikavälillä.

IAEA:n sihteeristössä alkoi tarkastustoiminnan tehostaminen, joka merkitsi yhdenmukaisten, yksityiskohtaisten tarkastuskriteerien kehittämistä kaikille ydinlaitostyypeille. Tuwaitan siivittämänä sihteeristö alkoi myös selvittää, kuinka lähestyä kysymystä salaisen laitosten löytämiseksi, mutta vuosina 1991–2005 kriteerit silti pohjautuivat ilmoitettujen laitosten ja materiaalien todentamiseen. Tässä työssä Japanin kokemuksen olivat hyvä pohja. Aina vuosikymmenen loppuun saakka tarkastusvastuuni, kemistin koulutuksesta johtuen, olivat ydinpolttoaineen valmistamisessa ja jälleenkäsittelyssä.

Tarkastajan työn teki mielenkiintoiseksi se, että jokainen tarkastaja saattoi omien halujensa ja asiantuntemuksensa perusteella osallistua kriteerien laatimiseen sekä uusien menetelmien ja laitteiden kehittämiseen ja testaamiseen; ja työmaata riitti. Uudet plutoniumlaitokset rakennettiin niin, että ydin-

Vierailu Arzamasissa talvella 2010. Taustalla suurin koskaan testattu ydinpommi Tsar Bomba tai niin kuin jotkut sanovat: Big Mama.



Tapaaminen Iranin ulkoministerin Ali-Akbar Salehin kanssa New Yorkissa vuonna 2012.

materiaalit liikkuvat prosesseissa automaattisesti ja sitä varten tarvittiin kokonainen uusi sukupolvi neutronimittauksiin perustuvia laajoja laskureita ja videovalvontasysteemejä sekä elektronisia vaakoja, joita käytettiin samalla myös laitoksen prosessivalvontaan. Ydinmateriaalien määrät kasvoivat, joka vaati lähes reaaliaikaisen valvontasysteemin kehittämisen, johon osallistuin alusta alkaen. Tärkeä osa kehitystyötä oli saumaton yhteistyö laitoksen käyttäjän, tarkastajien ja laitteiden rakentajan välillä niin, että jokaisen tarpeet täytettiin ja tarkastustoiminnan riippumattomuus taattiin.

Kriteerit oli kehitetty, laitteita rakennettiin, mutta Irak paljasti tarkastustoiminnan rajallisuuden. Kuinka varmistetaan, että maa on ilmoittanut kaikki ydinmateriaalit ja niitä käsittelevät laitokset IAEA:lle niin kuin valvontasopimus vaatii? Tämä vaati uutta lähestymistapaa, jossa maan ydinohjelmaa tarkastellaan kokonaisuutena ja IAEA seuraa ja analysoi infrastruktuuria (kuten tutkimus- ja kehitystyötä, johon ei liity ydinmateriaaleja), kaksikäyttötuotteiden hankkimista, julkaisuja ja käyttää muita menetelmiä kuten satelliittikuvia ja ympäristönäytteiden analyysia. Uusien menetelmien omaksumista ja sovellutusta nopeutti YK:n turvallisuusneuvoston päätöslauselma 661, joka velvoitti IAEA:n verifioimaan Saddamin ydinohjelman riisumisen ja rakentamaan pitkäaikainen monitorointisysteemi takaamaan, että sitä ei käynnistetä uudelleen. Tehtävää varten perustettiin Action Team, joka oli erillään muusta valvontaorganisaatiosta. Minun tehtäväkseni tuli ensimmäisen parin vuoden aikana tarkastusten dokumentointi ja tutkimukset, jotka liittyivät Irakin hankintoihin ydinalan mustista pörseistä.

Nämä uudet menetelmät johtivat vuonna 1993 siihen, että IAEA katsoi Pohjois-

Korealla olevan mahdollisesti plutoniumia ja aktiiviteetteja, joita se ei ollut ilmoittanut vastoin valvontasopimuksensa velvoitteita. Tämä siivitti IAEA:n vaatimaan erikoistarkastuksen suorittamista Pohjois-Koreassa. Valvontasopimuksen mukaan tämä on mahdollista konsultaatioiden jälkeen, missä tarkoituksessa Mohamed Elbaradein ja Svein Thorstensenin kanssa neuvottelimme viikon ajan tammikuussa ehtoista Pjongjangissa. Pohjois-Korea ei suostunut IAEA:n pyyntöihin. Seurauksena oli myöhemmin YK:n turvallisuusneuvoston päätöslauselmat, jotka tukivat IAEA:n vaatimuksia. Plutoniumin tuotannon, ydinräjäytyskokeiden ja ohjusohjelman edetessä päätöslauselmia on tullut lisää osoittaen kansainvälisen yhteisön rajalliset mahdollisuudet estää ydinaseohjelman kehittämisen, jos maa on sellaisen turvallisuuspoliittisen päätöksen tehnyt. Pohjois-Korean neuvottelukieli oli usein kovanlaista, mutta runsaan parinkymmenen vuoden aikana henkilökohtaiset keskustelusuhteet eivät kärsineet. Siitä on osoituksena heidän lähetystönsä muistolahja, susikoirapatsas. Saadessani lahjan erotessani IAEA:sta ”lähetystövirikailija” sanoi, että minun täytyy pitää se selkäni takana toimistossa ovea vahtien. Siinä tehtävässä koira on tänään myös täällä Washingtonissa.

Informaatiota täytyy jakaa avoimesti ja yksityiskohtaisesti

IAEA on tekninen organisaatio, jonka tehtävänä on valvonnan osalta tuottaa sen jäsenmaille ja hallintoneuvostolle faktat: tosiasiat, jotka tukevat poliittista päätösten tekoa. Nämä ovat minun mielestäni ehkä tärkeimmät opit Irakista, Pohjois-Koreasta, Etelä-Afrikasta,

Iranista, Libyasta ja Syyriasta, joiden kanssa olen ollut tekemisissä muun tarkastustyön ohella erilaisissa rooleissa. Täyttääkseen nämä tehtävät IAEA:n pitää olla riippumaton sekä esittää tosiasiat avoimesti ja riittävän yksityiskohtaisesti päätöksentekijöille. Mikään valvontajärjestelmä ei ole täydellinen, ja järjestön on myös kerrottava puutteet ja epävarmuudet sekä työskenneltävä aloitteellisesti näiden minimoimiseksi. Tässä suhteessa ehkä viimeiset vuotuiset safeguards-valvontaraportit ja erikoisraportit esimerkiksi Iranin kohdalla ovat ottaneet askeleita väärään suuntaan. On tietysti tärkeää jakaa tilastollista tietoa valvontatoiminnan kustannuksista, mutta uskottavuuden ja riippumattomuuden kannalta on vähintään yhtä tärkeää osoittaa, mihin havainnot perustuvat ja mikä on niiden luotettavuus. Siihen on IAEA:n tärkeimmällä resurssilla, tarkastajilla, valmius kunhan jäsenmaat sitä vaativat ja antavat niin tehdä.

IAEA on saavuttamassa tärkeän virstanpylvään. 60-vuotistaipaleen muistaminen ja analysointi on tärkeää. Mutta vielä tärkeämpää on katsoa edessä olevia haasteita ennakkoluulottomasti: missä ovat vahvuudet ja mitkä ovat heikkoudet ja mitä niille tulee tehdä. Safety, Security ja Safeguards – Triple S – ovat erottamattomat kolmoset. Maailman ydinalan tuleva järjestys perustuu näiden kolmen osa-alueen tasapainoiseen kehittämiseen, synergoiden hyödyntämiseen, ja pitkällä aikavälillä kaiken kattavan kansainvälisen ”valvontajärjestelmän” luomiseen. Tämä on myös minun tehtäväni Harvardin Yliopiston Kennedy Schoolissa ja tästä vuodesta alkaen myös Foundation for Defense of Democracies Washingtonissa.

Olli Heinonen

Senior Associate, Harvard Kennedy School

Abu Dhabin monikulttuurinen ydinvoimaprojekti

Kun on naisena työskennellyt kaksi vuotta Lähi-idässä, muslimimaassa, maskuliinisella ja konservatiivisella ydinvoima-alalla, mitä siitä on jäänyt käteen?

Näkymä Abu Dhabin korkeimman rakennuksen huipulta saarella sijaitsevan keskustan yli



YDINVOIMA-ALA Yhdistyneissä Arabiemiirikunnissa ("Arabiemiiraatit") on hyvin nuori. Kiinnostus ydinvoimaan heräsi Arabian niemimaan maissa 2000-luvun alkupuolella ja vuonna 2006 maat aloittivat tekemään yhdessä IAEA:n tuella selvitystä mahdollisuuksista monipuolistaa maiden sähköntuotantoa rakentamalla ydinvoimaa. Arabiemiiraatit julkaisivat vuonna 2008 oman ydineenergiapolitiikkansa, joka tähtää ydinvoiman rakentamiseen ja hahmottelee ydineenergia-alan toimijat ja tavoitteet pääpiirteissään. Alusta lähtien Arabiemiiraattien tavoitteena on ollut olla malliesimerkki siitä, kuinka kaupallista ydinvoimaa rakennetaan uuteen maahan tehokkaasti ja noudattaen tiukasti kaikkia kansainvälisiä säännöksiä. Ydinvoimatoiminnan voi ajatella oikeasti käynnistyneen vuonna 2009, jolloin maalle laadittiin ydineenergi laki ja ydinturvallisuusviranomaisen Federal Authority for Nuclear Regulation (FANR) sekä ydinvoimayhtiö Emirates Nuclear Energy Corporation (ENEC) perustettiin.

Alusta lähtien projekti on edennyt uskomattomalla vauhdilla. ENEC järjesti pikaisen tarjouskilpailun ja voittajaksi julistettiin joulukuussa 2009 korealainen konsortio, jota johtaa Korea Electrical Production Corporation (KEPCO). Neljän APR-1400 -painevesireaktorin laitoitoimitussopimuksen arvoksi on kerrottu 20 miljardia dollaria. Sopimuksessa määritellyn aikataulun mukaan ensimmäisen yksikön rakentaminen alkaa vuonna 2012 ja yksikön kaupallinen käyttö vuonna 2017. Muut yksiköt seuraavat aina vuoden viiveellä toisiinsa nähden niin, että kaikki neljä yksiköä ovat käytössä vuonna 2020. On hämmästyttävää, että alkuperäinen aikataulu on edelleen voimassa kaikille neljälle yksikölle ja esimerkiksi kolmannen yksikön reaktoripaineastia nostettiin paikalleen heinäkuussa 2016, lähes täsmälleen kaksi vuotta sen jälkeen kun vastaava toimenpide tehtiin ensimmäisellä yksiköllä. Yksiköitä rakennetaan Barakah'n laitospaikalle noin 300 kilometriä länteen pääkaupungista Abu Dhabista ja lähin kaupunki, Ruwais, on 53 kilometrin etäisyydellä.

Etsimässä uusia kokemuksia

Itse hyppäsin mukaan tähän projektiin syyskuussa 2014, jolloin ensimmäisen yksikön rakentaminen oli jo pitkällä, kakkosyksikön rakentaminen oli aloitettu noin vuotta aiemmin ja kolmannen yksikön pohjalaatta valettiin välittömästi rakentamisluvan myöntämisen jälkeen. Olin mieheni kanssa pohtinut ulko-



Lähes koko Arabiemiraattien alue on luontaisesti aavikkoa.

maille muuttamista jo jonkin aikaa ja minua kiinnosti lähteä jonnekin oikeasti erilaiseen paikkaan. Ensimmäisten ydinvoimalaitosten rakentaminen rikkaaseen muslimimaahan Lähi-idässä kuulosti kokemukselta, joka tarjoaisi jotain Suomen työelämästä poikkeavaa.

Suomessa olin työskennellyt tutkijana VTT:llä determinististen turvallisuusanalyysien parissa ja sen jälkeen Fennovoimassa ydinturvallisuus- ja lisensointitehtävissä. ENECissä onnistuin saamaan paikan lisensointiosastosta, jossa tehtäväni on ollut koordinaa viranomaisarkastuksia laitospaikkalla osana noin kymmenen hengen tiimiä.

Omaksutaan jokaisesta maasta menestyneimmät piirteet

Arabiemiraattien yleisenä asenteena tuntuu olevan, että muista maista tahdotaan ostaa ja kopioida kaikki parhaat puolet, jolloin kaiken Arabiemiraateissa voidaan sanoa olevan maailman huipputasoa. Myös ENECin ydinvoimaprojekti on kokoelma maailmalta valittuja toimintatapoja ja teknologioita. Ydinturvallisuusviranomaisen säännöstö pohjautuu vahvasti IAEA:n ohjeisiin, mutta yksityiskohtaisemman toteutuksen osalta ENEC on sitoutunut Yhdysvaltain turvallisuusviranomaisen NRC:n ohjeisiin ja amerikkalaisiin standardeihin. Ydinvoima-alan asiantuntijoita on haalittu ympäri maailmaa ja toimintatapoja arvioidaan innokkaasti IAEA:n, WANOn ja amerikkalaisen INPON ohjeistuksia ja vaatimuksia vasten.

Lähteet: World Nuclear Association, World Nuclear News, wikipedia, ENECin internetsivut, "Policy of the United Arab Emirates on the Evaluation and Potential Development of Peaceful Nuclear Energy"

Naiset ja arabit ydinvoimalaitoksessa

Arabiemiraatit on Persianlahden maista selvästi vapaamielisin, edistyksellisin ja turvallisin, ja täällä naisia kannustetaan kovasti työelämään. ENECissä noin puolet työntekijöistä on emiraattilaisia ja merkittävä osa heistä on naisia. Naisilta tunnutaan odottavan miehiä vähemmän työelämässä, joten minun on ollut helppoa erottautua eduskunni tekemällä työni kunnolla. Monet paikallisista naisista tekevät myös mieluummin töitä muiden naisten kuin miesten kanssa, joten minun odotetaan toimivan mentorina ja esiliinana heille.

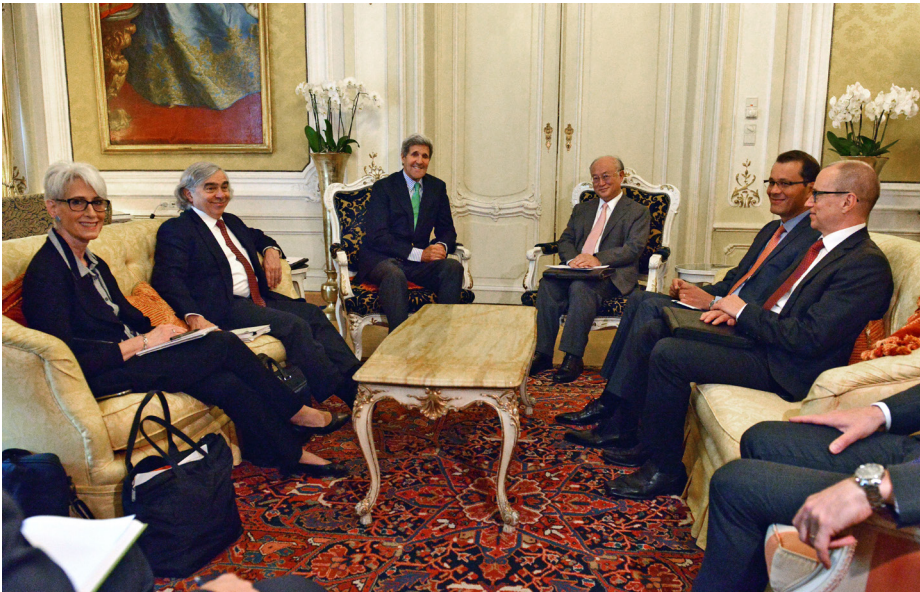
Laitoksen operaattoreista suuren osan on tarkoitus olla emiraattilaisia, mikä herättää kysymyksiä voimakkaasti perhekeskeisen arabikulttuurin sekä turvallisuuskriittisen vuorotyön yhdistämisen toimivuudesta. Täällä työnantaja ymmärtää, että mikä tahansa kriisi perhepiirissä tai suvussa edellyttää välittömästi poissaoloja töistä, sillä perhevelvoitteita pidetään tärkeämpinä kuin työvelvoitteita. On ollut mielenkiintoista seurata miten täällä opetetaan esimerkiksi operaattorille, että työt on on hoidettava kunnialla, vaikka kotona olisi ongelmia.

Projektissa eletään tällä hetkellä erittäin mielenkiintoisia vaiheita, sillä ykkösyksikön käyttöönotto on pitkällä ja pian on aika tuoda ydinpolttoaine laitospaikalle. Laitoksen muuttuessa teollisuusrakentamisprojektista oikeaksi ydinvoimalaitokseksi, on viimeistään välttämätöntä saada arabi-korealais-amerikkalainen käyttöorganisaatio toimimaan yhdessä ydinturvallisuuden varmistamiseksi.

Minulle täällä työskenteleminen on ollut erittäin avartava kokemus, joka on pakottanut kyseenalaistamaan myös suomalaisia toimintatapoja ja miettimään tekevätkö jotkut muut asiat kuitenkin paremmin. Lukuisista haasteista huolimatta täällä saadaan aikaan uskomattomia saavutuksia, ja mielestäni muutamia syitä sille ovat uskallus yrittää asioita, joita kaikki muut pitävät mahdottomina, halu uusiutua ja maksua muilta parempia ratkaisuja sekä kyky pyytää apua kun omat rahkeet eivät riitä. Toisaalta öljyrahoilakin saattaa olla jotain tekemistä joidenkin menestystarinoiden kanssa.

Malla Jääskeläinen

Licensing Specialist, Emirates Nuclear Energy Corporation



Globaalin turvallisuuden keskiössä

Ydinaseiden leviämisen estäminen, ydinmateriaalien ja -teknologian joutuminen terroristien tai muiden asiaankuulumattomien käsiin kuuluvat globaalin turvallisuuden tärkeimpiin prioriteetteihin. Kansainvälisen atomienergiajärjestön (IAEA) ydinmateriaalivalvonnan tehtävät ja menestykselliset toiminta ovat siinä keskeisessä asemassa.

TÄLLÄ HETKELLÄ IAEA:lla on valvonnassa ydinmateriaalia, josta voidaan valmistaa yli 200 100 ydinräjähdettä. Määrä on reippaasti yli kymmenkertainen verrattuna maailmassa olevien ydinräjähteiden määrään!

Valvonnassamme olevat ydinmateriaalit sijaitsevat noin 1 300 ydinlaitoksessa ja -paikassa 182 maassa. Valvontamme kohdistuu näihin materiaaleihin sekä mahdollisten salaisten ydinasehankkeiden, -ohjelmien ja -materiaalien paljastamiseen. Toimintamme on globaalia ja ympärivuorokautista.

Valvonnasta vastaa Safeguards-osasto

Perusluonteeltaan IAEA:n ydinmateriaaliosasto (Department of Safeguards) on verifikaatio-organisaatio. Osasto saa vuosittain noin miljoona ydinmateriaaliraporttia ja muuta selontekoa valvottavilta mailta. Itse keräämme vielä enemmän tietoja tarkastuksillamme sekä seuraamme ja analysoimme koko ajan tietoja erilaisista avoimista informaation läh-

teistä (open source-lähteet: esim. useita kymmeniä tuhansia tutkimusjulkaisuja, valtiollisia ohjelmia ja strategisia suunnitelmia, satoja satelliittikuvia, teknistä ja poliittista raportointia yms.) ja lisäksi teemme jossain määrin yhteistyötä eri maiden tiedustelupalvelujen kanssa.

Keräämiämme tietoja todennamme sekä Wienissä sijaitsevassa päämajassamme, laboratorioissamme Siebersdorfissa (noin 40 km Wienistä), aluetoimistoissamme Tokiossa ja Torontossa, lukuisissa maakohtaisissa toimipaikoissamme että jäsenmaihiin tehtävissä tarkastuksissa. Vuonna 2015 teimme tuhansia tarkastuksia, joihin käyimme kentällä yli 13 000 työpäivää.

Verifikaatio toimintamme on hyvin teknologia-avusteista. Tällä hetkellä käytössämme on yli 1 300 valvontakamerajärjestelmää (suuri osa huippumoderneja, osa etäohjattavia), yli 20 000 sinettiä (monet moderneja älysinettejä) ja otamme noin 1 000 näytettä, jotka analysoidaan modernisoiduissa laboratorioissamme Siebersdorfissa Itävallassa. Viime vuonna käy-

Iran-neuvotteluiden aikana käytiin paljon myös valvontaneuvotteluita. Kuvassa vasemmalta USA:n varaulkoministeri Wendy Sherman, energiainministeri Ernest Moniz, ulkoministeri John Kerry, pääjohtaja Yukiya Amano, koordinaattori Cornel Feruta ja allekirjoittanut.

timme tarkastuksillamme yli 2 200 valvontalaitetta (NDA ja DA).

Päämajassamme Wienissä olemme onnistuneesti viimeisen parin vuoden aikana uudistaneet suureksi osaksi koko valvontajärjestelmämme IT:n (41 M€:n hanke) ja ottaneet käyttöön Siebersdorfissa uudet huippumoderanit ympäristönäytteiden ja ydinmateriaalinäytteiden analysointilaboratoriot (kustannus 81 M€). Myös Tokiossa ja Torontossa sijaitsevista aluetoimistoissamme IT- ja kommunikatiojärjestelmät on uudistettu.

Ydinmateriaalivalvontaa suorittaa runsaat 900 ammattilaista, jotka on rekrytoitu 95 eri maasta. Vuosibudjettimme on noin 130 M€, jonka lisäksi hankekohtaisesti investoimme vuosittain noin 40 M€. Voin oikeutetusti ja ylpeänä sanoa, että globaalina toimijana olemme tulleet erittäin tehokkaaksi.

Luonnehtiakseni arkipäiväistä työtämme voisoin jossain määrin verrata sitä vaikkapa ydinvoimalaitosten käyttöön: globaalisti aina jotain pientä ”sattuu ja tapahtuu” INES-luokkien tasoilla 0–1.

Agendallani on kolme isoa asiaa

1. Iran: Kysymys Iranin ydinohjelman rauhanomaisuudesta nousi vakavaksi kansainväliseksi huolenaiheeksi jo vuonna 2003 ja kulmineitui 2011 IAEA:n selontekoon ”Possible Military Dimension to Iran’s Nuclear Programme”. Selonteossa käsiteltiin ydinaseiden kannalta keskeisiä ja Iranin valvonnassa auki olevia asioita, kuten mahdollisen ohjelman organisoitua, sytytin- ja räjähdeteknologiaa, hydrodynaamisia kokeita, mallinnusta, neutronilähteitä ja ydinräjähteen sijoittamista ohjukseen.

Vasta loppuvuodesta 2013 asiat alkoivat edetä Iranin ydinohjelman selvittämisessä kulmineituen 16.1.2016 voimaan tulleeseen Joint Plan of Action -sopimukseen (JCPOA), joka merkittävästi rajoittaa Iran ydinohjelmaa seuraavan 25 vuoden ajan. Rajoitusten valvonta tuli IAEA:n tehtäväksi. Merkittävimmistä rajoituksista mainittakoon:

- Seuraavat 10 vuotta: Iran ei saa ottaa käyttöön uuden tyyppisiä sentrifugeja, sentrifugien määrä ja T&K on kovasti rajoitettua;
- Seuraavat 15 vuotta: Uraanin rikastus-

asteen oltava alle 3,67 %, UF6:n määrän Iranissa oltava alle 300 kg, Fordownin laitoksessa ei saa rikastaa uraania lainkaan, uusia rikastuslaitoksia ei saa rakentaa, uusia raskasvesireaktoreita ei saa rakentaa, raskasveden määrän tulee olla alle 130t ja sen ylittävät määrät tulee viedä pois Iranista;

- Seuraavat 20 vuotta: sentrifugien ja niiden pääkomponenttien valmistus IAEA:n valvonnan alla;
- Seuraavat 25 vuotta: IAEA:lla on valvontaoikeudet kaikkiin Iranin uraanikaivoksiin;
- Ilman takarajaa: Iranin ja IAEA:n välinen lainvoimainen safeguards-sopimus ja sen lisäpöytäkirja (Additional Protocol).

JCPOA on sopimuksena monimutkainen ja teknisesti vaativa. Sopimuksessa on suuri määrä uusia valvontatehtäviä IAEA:lle, jotka IAEA:n hallintoneuvosto on vahvistanut tehtäväksemme. Vaikka IAEA ei ole sopimuksen osapuoli, sopimustekstissä meidät mainitaan useammin, kuin mikään sopimuksen tehneistä seitsemästä maasta (Iran, USA, Iso-Britannia, Ranska, Venäjä, Kiina ja Saksa). JCPOA sisältää myös suuren joukon pakotteisiin liittyviä asioita.

Tammikuun 16. jälkeen valvontamme Iranissa perustuu Iranin voimassa olevaan safeguards-sopimukseen ja JCPOA:han. Nämä yhdessä antavat meille paremmat valvontatyökalut, kuin meillä on Suomen tai minkään muun maan kanssa. Valvontateknisesti JCPOA on siis erinomainen sopimus. Voidaan sanoa, että Iranin suhteen IAEA:lla on nyt

paremmat valvonnan työkalut kuin minkään muun 181 maan kanssa.

JCPOA on erittäin tärkeä, mutta edelleen hauras. Sen onnistunut kestävä toimeenpano vaatii kaikilta osapuolilta jatkuvasti kovaa ja tarkkaa työtä.

2. *Pohjois-Korea*: Maan ambitiot ydinaseiden suhteen ovat selvät. Valvontamme tapahtuu pääasiassa satelliittien, avoimien lähteiden ja kolmansien osapuolien kanssa tehtävän yhteistyön kautta, sillä vuodesta 2009 Pohjois-Korea ei ole päästänyt maahan tarkastajiamme. Tuleva sopimusjärjestely maan kanssa olemaan millainen tahansa, meidän tulee sitä valvoa. IAEA:n hallintoneuvoston ohjeistuksen mukaisesti olemme valmiudessa palaamaan maahan kahden viikon sisällä siitä, kun tilanne sen sallii.

3. *Syyria*: Tilanne on pysynyt epäselvänä. Vuonna 2007 Israelin pommittama kohde Dair Alzurissa oli teknisen analyysimme mukaan hyvin todennäköisesti salainen, rakenteilla ollut tutkimusreaktori. Tapauksen selvittäminen ei ole edistynyt eikä maan sekava turvallisuustilanne helpota asiaa.

Maailma muuttuu ja meidän tulee muuttua sen mukana

IAEA:n ydinmateriaalivalvonnan suurimmat tulevaisuuden haasteet liittyvät siihen, että toisaalta lakisääteiset valvontavelvoitteet jatkuvasti kasvavat, mutta resurssit eivät. Esimerkiksi viimeisen viiden vuoden aikana juridisten sitoumustemme määrä kasvoi yli 20 % ja valvonnan alla olevan ydinmateriaa-

lin määrä yli 20 %. Samalla ajanjaksolla budjettimme kasvoi vain 0,6 %.

Ensisijaisina ratkaisuin kasvavan tehtävien/resurssit-eron paikkaamiseen ovat tuottavuuden ja ketteryyden lisääminen. Globaalin talouden nykytilanteessa on epärealistista olettaa budjettimme kasvavan samassa suhteessa kuin valvontavelvoitteemme. Siksi tuottavuuden parantamishjelmamme peruskomponentit ovat:

- Teknologian lisääminen: IT ja muut modernit valvontateknologiat;
- Sisäisten toimintamallien merkittävä tehostaminen, mukaan lukien lean management- käytäntöjen soveltaminen;
- Tiettyjen jäsenmaiden ”saaminen ruutuun” eli niiden oman valvontajärjestelmän laadun selkeä parantaminen.

Ottaen huomioon, kokemukset JCPOA-prosessista ja kuinka nopeasti maailma tänä päivänä muuttuu, suurin valvontamme onnistumisen tekijä on ketteryys! JCPOA osoitti, että hyvällä johtamisella ja kovalla työllä menestykseen tarvittava ketteryys voidaan saavuttaa.

Urapolulla lukuisia kansainvälisiä pestejä

Oma tieni IAEA:n varapääjohtajaksi kulki STUKin ja moninaisten kansainvälisten tehtävien kautta. Aloitin STUKissa vuoden 1980 marraskuussa ydinmateriaalitarkastajana edeten vuosien saatossa erilaisten tehtävien kautta STUKin pääjohtajaksi. Olen toiminut mm. USA:n ydinvalvontakomissiossa NRC:ssä, Moskovassa Kansainvälisessä tiede- ja teknologia keskuksessa (ISTC), IAEA:ssa nyt kolmatta kertaa, SAGSI-ryhmässä IAEA:n pääjohtajan neuvonantajana ydinmateriaalivalvonnassa, ESARDAn (European Safeguards R&D Association) ja ENSGERin puheenjohtajana sekä hoitanut erilaisia kansainvälisiä puheenjohtajuuksia ja muita luottamustehtäviä.

IAEA:n varapääjohtajan tehtävä on määräaikainen (4 vuotta) eikä siihen haeta. Ottaen huomioon tehtävän luonteen ja tärkeiden haku- ja valintaprosessi kestää noin vuoden ja sisältää suuren joukon erilaisia tekijöitä, joilla punnitaan valittavan henkilön teknisiä, johtamistaidollisia, diplomaattisia, monikulttuurillisia ja sosiaalisia taitoja, kokemusta sekä tehtävässä menestymisen edellytyksiä.

Tero Varjoranta

Varapääjohtaja ja Safeguards-osaston päällikkö, IAEA

IAEA:n tarkastajat työssään.



The VTT Centre for Nuclear Safety, up-grading Finnish nuclear safety research

Wade Karlsen

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

Research in the safe use of nuclear power is evolving at VTT to meet the future. While the decommissioning of VTT's FiRI test reactor means that a rich history in the innovative utilization of nuclear reactions is coming to a close, the VTT Centre for Nuclear Safety (CNS) presents a new national research infrastructure. The VTT CNS is equipped as a modern radiological facility, featuring a range of cutting-edge technologies for studying radioactive substances in support of safe nuclear power plant operation and final disposal of spent nuclear fuel.

Ydinturvallisuuteen liittyvä tutkimus kehittyy VTT:llä kohdatakseen tulevaisuuden tarpeet. FiRI-tutkimusreaktorin käytöstäpoisto tarkoittaa, että VTT:n maineikas historia ydinreaktioiden innovatiivisena hyödyntäjänä päättyy. Nyt ydinturvallisuustalo (YTT) edustaa uusinta kansallista tutkimusinfrastruktuuria. YTT on varustettu moderneilla radiologisilla laitteilla, jotka edustavat huipputekniikoita radioaktiivisten aineiden tutkimuksessa, jolla tuetaan ydinlaitosten turvallista käyttöä ja käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamista.

VTT has been a key contributor to the nuclear sector in Finland right from the start. It has been hosting the Finnish national hot laboratory infrastructure since the first nuclear power plants were constructed in Finland in the 1970's. In addition to infrastructure-intensive facilities for handling radioactive materials, other important test facilities have been built up over the years, and experts have blossomed in many aspects of research and development promoting nuclear safety. Over time the activities have broadened to outgrow both the capacity and capabilities of the existing facilities.

The call for renewal of the research infrastructure

The decision to construct the VTT CNS and decommission the old radiological laboratories is part of a long-term strategy initiated a number of years ago, and lasting beyond 2020. Preliminary assessment of needs and options was initiated in 2008. In May 2012, the Finnish Ministry of Employment and the Economy (MEE) published a report of the Committee for Nuclear Energy Competence in Finland, which not only addressed personnel resources, but also included research infrastructure competencies [1]. It specifically endorsed the construction of a whole new radiological facility, with the additional goal of gathering most of the VTT Nuclear Safety research personnel scattered around the Otaniemi campus, into a single, compact facility called the VTT Centre for Nuclear Safety. In January 2013, MEE launched a working

group that prepared a research strategy for the nuclear energy sector through 2030. Known informally as the "YES" strategy (acronym of 'ydinenergiastrategia' - nuclear energy strategy), it identified a number of strategic recommendations [2]. Finally, according to the vision put forward by the Academy of Finland's Strategy and Roadmap for Research Infrastructures 2014–2020, by 2020 Finland will have gained recognition for its internationally competitive science and high-quality research infrastructures, which will also enable the renewal of teaching, society and the business sector [3]. Clearly the VTT CNS infrastructure is an important actor in fulfilling many of those national nuclear research objectives.

VTT's technological flagship for the nuclear sector

The new VTT CNS is located in Otaniemi. From its modern office wing VTT experts serve the nuclear sector in areas such as computational fluid dynamics, process modelling (APROS), fusion plasma computations, severe accidents, core-computations, nuclear waste-management and safety assessments. Meanwhile, in the radiological laboratory, staff conduct radiochemistry, radioisotope dosimetry, failure analyses, and mechanical and microstructural characterisation of nuclear reactor structural materials in support of nuclear waste management and nuclear reactor safety. By bringing most of the VTT nuclear sector researchers together under the same roof, the capacity to collaborate in wide-ranging, multidisciplinary national programs is enhanced.

The modern laboratory facilities provided by the VTT CNS raises the level of technological prowess, in tandem with enhancing radiation safety. The technological enhancement enables a higher scientific level in research results. This in turn is essential for participation in international research projects and programmes, as well as for enabling high-level research in support of doctoral theses. The enhanced radiation safety offered is also beneficial for providing an environment amenable to hosting visiting researchers, whether as part of domestic degree programs, or of international consortium research projects.

Constructing a safe and modern radiological facility

Design of the CNS in its final form commenced in earnest in 2012. The vision of SARC Architects and the technical needs of VTT's radioactive materials research scientists were put onto paper by a design team led by SARC and A-Insinöörit, directing some ten other specialized engineering companies. Regulation and oversight by the authorities involved the local municipal government, building department and emergency services, as well as Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority STUK. Funding of the 50M€ investment in facilities and equipment has come from VTT and the Finnish nuclear power plant operators, coordinated by the Finnish Ministry of Employment and the Economy.

Under the mandate of the owner, the state real estate company Senaattikiinteistöt, SRV constructed the facilities together with a myriad of subcontractors (Figure 1 to Figure 4). Site preparations began in January 2014, and six months later the massive footings were ready and preparations underway for the poured-in-place, extra-thick concrete basement walls. As the end of the first year of construction approached, the pillars and modular wall slabs were placed atop the 75 cm thick, pre-tensioned concrete floor of the main high-bay that would house the lead-shielded hot cells forming the heart of the facilities. By the summer of 2015, the red-brick facade of the new laboratory emerged to harmonize with the surrounding buildings of the Otaniemi campus. Two years after the site work was initiated, the office wing of the new facility was ready for move-in. Five months later the laboratories were also turned over to VTT, in early May 2016.

Radiological laboratories for high quality radiochemistry

As a modern radiological facility, the CNS offers a number of safety features, elaborated upon in more detail elsewhere [4]. An entire floor of the laboratory wing is dedicated to C-class radiological laboratories. The C-class laboratory is intended for handling radioactive isotopes with such a low level of activity that a separate radiological control point is not required. Most of the rooms there are devoted to radiochemistry, nuclear waste repository research, and the study of aerosols.

A special facility included in the C-laboratory is a high resolution inductively coupled plasma mass spectrometer (HR-ICP-MS), which is capable of detecting metals and several non-metals in solution at



Figure 1. Six months after site preparations began in January 2014, the massive footings were ready.



Figure 2. As the end of the first year of construction approached, the pillars and modular wall slabs were placed atop the 75 cm thick, pre-tensioned concrete floor of the main high-bay for the lead-shielded hot cells forming the heart of the facilities.



Figure 3. By the summer of 2015, the red-brick facade of the new laboratory emerged to harmonize with the surrounding buildings of the Otaniemi campus.



Figure 4. Two years after the site work was initiated, the office wing of the new facility was ready for move-in, and in early May 2016 the laboratories were also turned over to VTT.

concentrations as low as one part in 10^{12} (part per trillion), even separating elemental isotopes. Compared to atomic absorption techniques, ICP-MS has greater speed, precision, and sensitivity. By locating it in a purpose-built ISO 6 class cleanroom facility, trace contaminants from laboratory ware and reagents is minimized. The device is widely applicable, but was primarily procured for supporting final repository research, enabling analyses of ground water contamination, and analysing radiological contamination swipe tests, in which picking up even small traces of some elements is of interest.

B-class laboratories for services requiring enhanced radiological protection

The B-class radiological laboratories can handle a higher level of radioactive isotopes, and thus the entrance to the B-laboratory is a radiation control point where workers are required to change to lab clothing. The B-class laboratories include different kinds of activities, each with their own dedicated facilities, including an iodine laboratory, radiochemistry laboratory and gamma spectrometry room. One area of the B-class facilities accommodates safeguard requirements for securely storing and handling of a small amount of nuclear materials, including space allocation for possible security screening facilities and specific security related systems necessary to fulfil the safeguard requirements, along with glovebox connections for handling of alpha-emitting materials.

The iodine facilities are designed to support the nuclear power plant iodine filter laboratory operated by VTT Expert Services Ltd. The main service is testing the efficiency of exhaust air filters of nuclear power plants and the activated charcoal used in them. Since the radioactive methyl iodide gas is a hazardous chemical, the exhaust air of the iodine lab is filtered through a special set of active charcoal filters before release.

The latest microscopy facilities for high resolution analytical imaging of radioactive materials

A suit of modern analytical electron microscopes enable microstructural characterization of radioactive materials. The whole installation area is designed to provide constant room air temperature and humidity, and to minimize mechanical vibrations and electromagnetic and electrostatic interference, enabling hosting of high quality electron microscopes.

The Zeiss Cross-Beam 540 scanning electron microscope can accommodate a focused-ion beam for microsectioning, and is equipped with an energy dispersive X-ray spectrometer, a wavelength dispersive spectrometer, and an electron backscatter diffraction detector. The FEI TALOS F200X scanning transmission electron microscope is the latest technology, featuring a high brightness field emission gun electron source and integrated four-detector energy dispersive X-ray spectrometer (EDS), it is also equipped with an electron energy-loss spectroscopy that can be used simultaneously with EDS. This portfolio of analytical electron microscopes enables high resolution imaging, element mapping, and crystallographic information mapping from irradiated materials over a broad range of scales, and atomic numbers, even to sub-nanometre resolutions. This microscopy tool kit is useful for understanding the mechanisms underlying material performance. By locating them in the radiological laboratory, they can be used for bet-

ter understanding the failure mechanisms of structural materials of the nuclear power plant primary circuit, especially those activated by neutron irradiation in the reactor core region.

A-class remote handling facility

Historically the principle radioactive materials handling has been for the mechanical testing of reactor pressure vessel steels, which have a relatively low level of radioactivity. The new experimental facilities bring the research of irradiated materials to the next level, by providing substantial remote handling capabilities in the hot cell island. As elaborated on in more detail elsewhere [5], the hot cells enclose the research equipment with lead shielding, and operation is carried out remotely using manual master-slave manipulators while viewing through thick, leaded glass windows. A main activity is mechanical testing of neutron-irradiated structural materials, but there are also associated processes such as electric discharge machine cutting, electron-beam welding and specimen preparation that need to be carried out in a shielded fashion. A shielded glove box is planned for metallography and small specimen handling, microscopy specimen production, and other activities involving small specimens requiring hand dexterity not easily achievable with



Figure 5. The hot cells themselves are being fabricated by the German company Isotope Technologies Dresden. The Factory Acceptance Test of the first of 4 units was carried out in early August, 2016.

manipulators. While currently being fabricated for VTT by Isotope Technologies Dresden (Figure 5), the installation of the hot cells into the high-bay of the new facilities will take place in 2017, with commissioning possible already by the end of the year.

References

- [1] Report of the Committee for Nuclear Energy Competence in Finland, Chair Riku Huttunen, Secretaries Jorma Aurela, Eriika Melkas until 3/2011 and Jaana Avolahti from 3/2011. Published by Ministry of Employment and the Economy, May 2012, ISSN 1797–3562, ISBN 978–952–227–600–1, pp. 299.
- [2] Nuclear Energy Research Strategy, Chairman Herkko Plit, Secretaries Jorma Aurela and Jussi Leppänen. Published by Ministry of Employment and the Economy, September 2014, ISSN 1797–3554, ISBN 978–952–227–866–1, pp. 55.
- [3] Finland's Strategy and Roadmap for Research Infrastructures 2014–2020, The Finnish Research Infrastructure Committee, Chair Marja Makarow, Academy of Finland, ISBN: 978–951–715–868–8, Press: Kopio Niini Oy, Helsinki 2014, 75p.
- [4] Karlsen, Wade, The new VTT Centre for nuclear safety, 51st Annual Meeting of the Hot Laboratories and Remote Handling Working Group, HOTLAB 2014, 21 – 25 September 2014, Baden, Switzerland Proceedings. HOTLAB Steering Committee (2014), 18 p. <http://hotlab.sckcen.be/en/Proceedings>
- [5] W. Karlsen, F. Butze "The new VTT hot cells," in Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Hot Laboratories and Remote Handling Working Group, HOTLAB 2015, September 27–30, 2015, Leuven, Belgium, 11p. <http://hotlab.sckcen.be/en/Proceedings>

Writer



Dr. Wade Karlsen

Research Team Leader, Nuclear reactor materials
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd
wade.karlsen@vtt.fi

Lappeenrannassa keitetty vettä ja lauhdutettu höyryä ydinturvallisuuden nimissä jo 1970-luvun puolivälistä alkaen

Heikki Purhonen, Virpi Kouhia
Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Lappeenrannan teknillisen yliopistossa on tehty vuosikymmeniä ydintekniikan parissa turvallisuustutkimustyötä, painottuen termohydrauliikkaan sekä koetoimintaan. Jo vaatimaton alkuperäinen koelaitteiston REWET-I:n parissa suuntasi tutkimusta oivalliselle reitille: termohydraulinen turvallisuustutkimus on kehittynyt Lappeenrannassa kansainväliset mittapuut täyttäväksi tutkimukseksi. Vuosien aikana Lappeenrannassa on kertynyt kokemusta kattavan koelaitteistopaletin parissa – sekä ns. erilliskoelaitteistojen että suurempia kokonaisuuksia kuvaavien koelaitteistojen ja niiden yhdistelmien käytössä. Kertynyt tietotaito on tuonut lujaa luotamusta omaan tekemiseen – yliopistossa ollaan edelleen mietintämyssyt päässä uudenlaisten sovellusten ja haasteiden äärellä.

Within the field of nuclear engineering at Lappeenranta University of Technology safety studies have been performed already for several decades, with the main focus on thermal hydraulics and experimental work. Already, the small-scale start with the first facility REWET-I oriented the path of the research to a fine route: thermal-hydraulic safety research in Lappeenranta has developed and become mature to a scale that fills also international standards. Along the years, experience has been gained in the use of the wide gathering of test facilities – including separate effect test facilities as well as integral facilities and blend of those to present larger ensembles. The buildup of know-how has been the base for a firm trust in own work – the thinking caps are still on at LUT to figure out new applications and challenges.

Alkuvuosina tutkimus Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa (LUT) keskittyi VVER-440 laitostyyppiin (Kuva 1), mutta vuosien varrella tutkimuskenttä on laajentunut kattamaan myös muita reaktorityyppejä, pääasiassa kuitenkin kotimaassa käynnissä, rakenteilla tai suunnitelluilla olevia ratkaisuja. Nyt jo yli 40 vuotisen matkan varrella koelaitteistoarsenaaliin on mahtunut monimuotoisia sovelluksia. Ja kokeita on tehty pienillä ja isoilla koelaitteistolla, joista dataa ja analyysejä on tuotettu tiedeyhteisölle isolla kapasiteetilla, [1], [2]. Yhteistyökumppaneita on ollut ja on, VTT, Ivo/Fortum, TVO, Siemens/Areva, Vattenfall, NOG, NITI, Toshiba jne. Rakennettuja koelaitteistoja on joustavasti muunneltu mitä moninaisimpiin käyttötarpeisiin, mm. kuvaamaan AP-600

ja VVER-640 laitoksia. Haastavimmat kokeet rakennetuilla erilliskoelaitteistoilla laitteistojen materiaalien ja lämpölaajenemisen suhteen ovat olleet BWR-90+ sydänsiepparikokeet sekä EPR sydänsulan levitysalueen jäähdytyskokeet. Prosessinhallinnan kannalta haastavimpia ovat olleet kokeet, joissa todellisen transientin alkuolosuhteita ei pystytä mallintamaan (paine, lämpötila, tilavuus, teho jne.), mutta tutkittavan hetken parametrit ovat kuitenkin saavutettavissa. Esimerkkinä tällaisesta tutkimustyöstä on Loviisan paineakkujen uimuripallon tiiveyden tutkiminen paineakun tyhjennyttä. Näissä kokeissa uimuripallon nopeus ja paine-ero pallon yli piti saada halutuksi juuri oikealla hetkellä pallon törmätessä kartiomaiseen tiivistepintaan.

PACTEL taipuu moneen

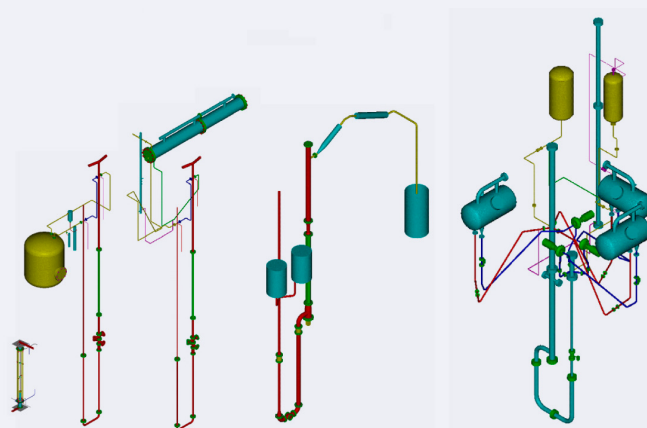
Laitteistojen muunneltavuutta on käytetty hyväksi myös PACTEL-laitteiston käytössä. PACTEL rakennettiin alun perin v. 1990 kuvaamaan VVER-440 tyyppin primäärisysteemiä, esikuvanaan tietysti Loviisan primääripiiri, [3]. 2000-luvulla laitteistoon runkoon lisättiin pari ”luuppia” ja EPR-tyyppiset pystyhöyrystimet. Näin rakennettiin PWR PACTEL-konsepti ja päästiin tutkimaan länsimaisen painevesireaktorin käyttäytymistä, [4]. Tämän lehden numerossa 2/2009 kerrottiin mm. juuri valmistuneesta PWR PACTEL -koelaitteistosta otsikolla ”Lappeenrannassa kaikki Suomen laitokset samassa hallissa”, [5]. Tuo artikkeli päättyi lauseeseen ”Jonain päivänä Lappeenrannassa saatetaan siis nähdä myös BWR PACTEL...” Tämäkin on nyt toteutunut, sillä PACTEL-laitteistoa käytetään syksyn aikana kuvaamaan kiehausvesireaktoria eräessä kokeellisessa sovelluksessa, Kuva 2. Lisäksi PACTEL/PWR PACTELia on käytetty hyödyksi höyryntuottajana PPOOLEX-koelaitteistossa, jolla mallinnetaan BWR:n lauhdutusallasjärjestelmiä. PPOOLEX-laitteistolla on tehty urauurtavaa työtä tuottamaan CFD-ohjelmille käyttökelpoista dataa. Tuloksia on esitelty mm. useissa NURETH-kokouksissa, [6].

Vaikka PACTEL-laitteisto on muunneltavissa, ei se kuitenkaan ihan kaikkeen taivu. Lisäksi sen perusrakenne on ikääntynyt: ”polttoaineenvaihto” (Kuva 3) tehtiin vuonna 2006, jolloin PACTELiin rakennettiin uusi sydänosa uusilla sauvoilla. Muutamia sydänosan lämpötilamittauksia siitä on kuitenkin jo rikkoutunut. Myös laboratoriotila asettaa omat rajoituksensa uusien sovelluksien järjestämiselle – se on jo täynnä. Tulevaisuuden tarpeita mietittäessä tulee koetoiminnassakin miettiä uusia tapoja tuottaa tieteellisesti relevanttia tietoa, joten...

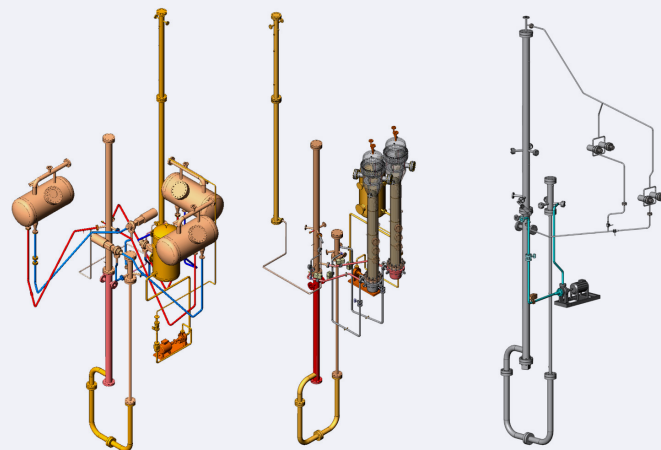
... Modulaarisuus viedään seuraavalle tasolle

Maailma muuttuu, enää ei ole aivan yhtä tärkeää kuvata koelaitteistolla jotain tiettyä reaktorityyppiä kuin ennen. Yleensä riittää, että tutkittavat ilmiöt voidaan saada aikaan halutulla tarkkuudella. Tämä johtuu suurelta osin analyyseissä käytettävien tietokoneohjelmien kehityksestä. Nykyisin voidaan osin jo olettaa, että koetulokset voidaan siirtää haluttuihin olosuhteisiin (geometria, paine, mittakaava, lämpötila jne.) kehittyneillä ohjelmoilla.

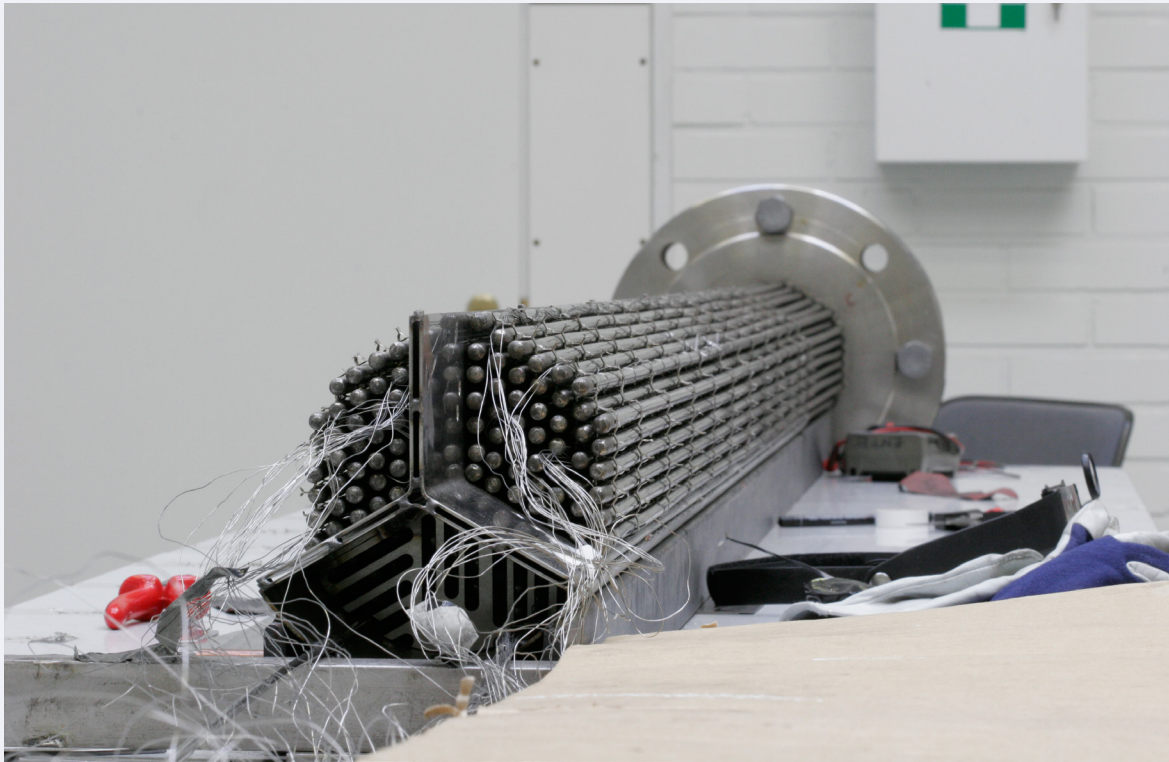
PACTEL-laitteiston seuraajaa mietittäessä johtavaksi ajatuksiksi tuli suunniteltavan uuden koelaitteiston muunneltavuus: laitteistolla pitäisi pystyä tutkimaan eri reaktorityyppejä integraalikoelaitteiston tapaan mutta myös havainnoimaan erilaisten järjestelmien toimintaa luomalla halutut olosuhteet peruslaitteistolla ja yhdistämällä tutkittavaan tapaukseen vaadittavat lisäosat. Tämä tarve johti ideaan modulaarisesta koelaitteistosta, jossa sen eri osia, moduuleja, voitaisiin joustavasti yhdistellä tarpeen mukaan. Alustava idea realisoitui kuvaksi professori Juhani Hyvärisen valkotaululle, Kuva 4. SAFIR2018 tutkimusohjelman sekä Suomen Akatemian FIRI-infrastruktuurihankerahoituksen tuella on edetty laitteiston esisuunnitteluun. Nämä tuet mahdollistavat laitteiston periaatesuunnittelun sekä ensimmäisten moduulien, lämmönläh-



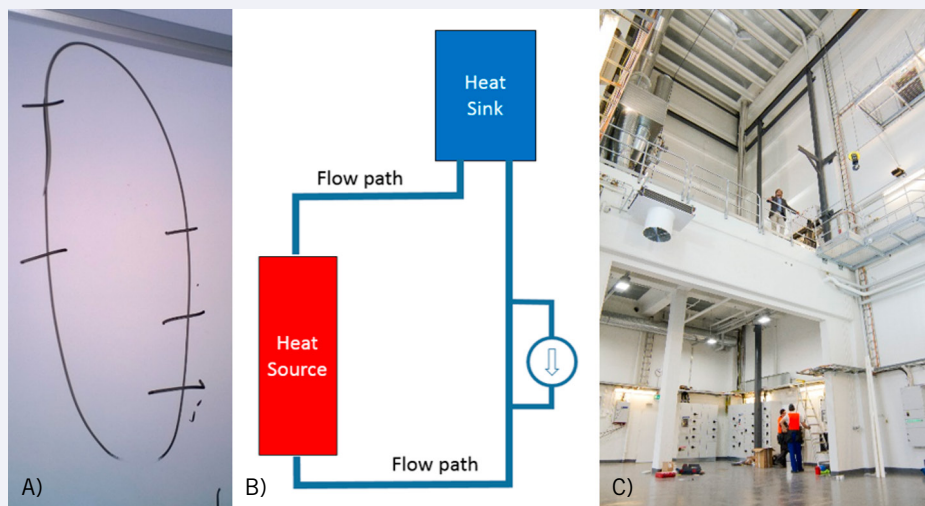
Kuva 1. VVER tutkimuslaitteiden kehityskaari: REWET-I, REWET-II, REWET-III, VEERA ja PACTEL.



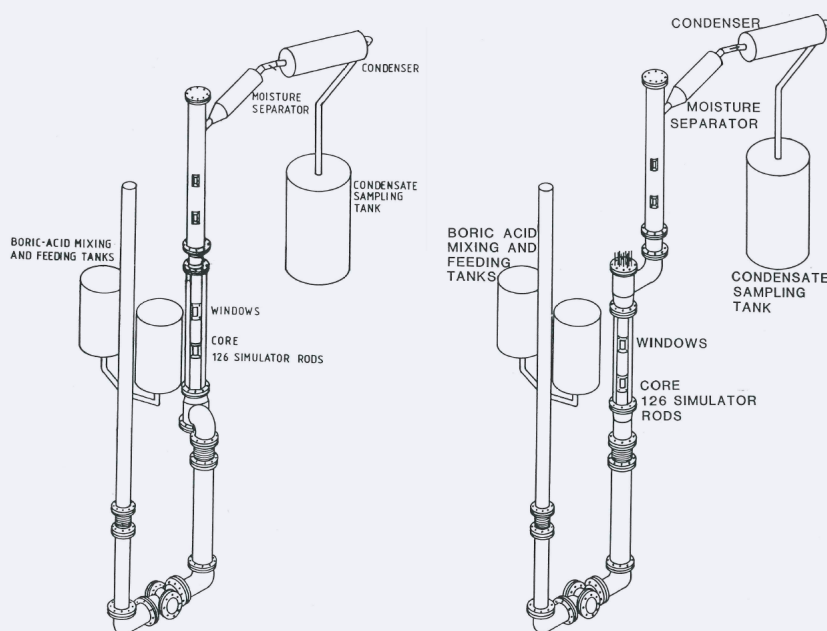
Kuva 2. PACTEL ja sen ”johdannaiset” eli PWR PACTEL ja ”BWR PACTEL”.



Kuva 3. PACTEL-laitteiston "polttoaineenvaihto" loppusuoralla.



Kuva 4. A) Modulaarinen koelaitteisto: Ensimmäinen luonnos valkotalulla – luonnoksessa erottuvat selkeästi ja suunnittelu-
vaiheeseen nähden riittävän yksityiskohtaisesti reaktoriipiirin luonnonkiertoon vaikuttavat komponentit (lämmönlähde, lämpö-
nielu, putkistot) ja niiden vaihdettavuus laippaliitoksien. B) Koelaitteiston ensimmäisen vaiheen kaaviokuva. C) Tilaa uudelle
koelaitteistolle on 20 metriä korkeassa laboratoriossa.



Kuva 5. Modulaarisuus toteutettuna VEERA-laitteistossa käännettävällä sydänosalla, [7].

teen ja lämpönielun, valmistamisen. Jotta laitteisto saadaan kehitettyä valmiiksi, monipuoliseksi koelaitteistoksi tarvitaan edelleen lisäpanostuksia. Tässä LUT luottaa TEM:n ja SAFIR johtoryhmän periaatteelliseen suunnitelmaan myöntää infrastruktuuriaraha LUT:n koelaitteistoon valmistuvaan ydintekniikkataloon myönnettävän rahoituksen suunnitelmien mukaisesti pienentyessä. Nyt saatu ja odotettavissa oleva rahoitus linkittyvät ajallisesti hyvin yhteen.

Suunnittelupöydällä oleva modulaarinen koelaitteistomme, työniemeltään MOTEL, sijoittuu LUT:n ydintekniikan laboratorion uuteen 20 metriä korkeaan tutkimushalliin. Perusrakenne suunnitellaan niin, että eri osia voidaan poistaa ja lisätä ilman, että joudutaan purkamaan muita laitteiston rakenteita. Moduulit suunnitellaan käytettäväksi eri tavoin: pystysuorassa, vaakasuorassa, eri korkeuksilla, yhdistettynä eri moduuleihin jne. Suunnittelu on vielä alkuvaiheessa; viimekeväässä työpajassa Lappeenrannassa alan edustajat esittivät näkemyksiään laitteiston käyttöparametreista (mm. paine, lämpötila, teho) ja reaktorivaihtoehdoista, joita pitäisi pystyä mallintamaan. Ensimmäinen suunnittelun alla oleva moduuli on lämmönlähde. Se pohjautuu perinteiseen vastuksilla toimivaan sydänosaan, ja siitä pyritään tekemään halkaisijaltaan riittävän suuri, jotta sydämen sisäinen kierto mahdollistuu ja annulaarinen alasmenotila saadaan poikkipinta-alaltaan riittävän suureksi. Sydänosan suunnittelussa haasteen tuo vastusten sähkönsyöttörakenne, joka häiritsee joko virtausta sydänosaan tai sieltä pois. Siksi sydänosa suunnitellaan helposti käännettäväksi, jolloin voidaan tutkia vaikkapa kiehutusvesilaitoksen sydämen yläpuolisia ilmiöitä, kun sähkönsyöttö sijoitetaan sydämen alapuolelle. Vastaavasti sydämen sisäänmenon 3D-ilmiöitä pystyttäisiin tutkimaan, kun sähkönsyöttö toteutetaan yläkautta. Tätä tekniikkaa on jo harjoitettu VEERA-koelaitteistolla (Kuva 5): osassa boorin kiteytymiskokeita laitteiston sydänosaa käytet-

tiin ylösalaisin käännettynä, [7]. Ensimmäisten moduulien suunnittelun rinnalla kulkee koko laitteiston periaatteellinen suunnittelu; erityisesti täytyy varmistaa, etteivät nyt tehdyt ratkaisut poissulje laitteiston joustavaa muokattavuutta.

Tietokoneohjelmistojen kirjoja, uusia mittausmenetelmiä – ja koetoimintaa

Ydinvoimalaitosten kokeelliseen tutkimukseen on liittynyt aina läheisesti monenlaisten tietokoneohjelmien huomioiminen, niiden käyttö ja kehittäminen. LUT on tuottanut sadoista kokeista dataa jatkoanalyysijä silmälläpitäen – yksi pääpainopisteistähän kokeellisen datan tuottamisessa on ollut ja tulee olemaan referenssitiedon tuottaminen tietokoneohjelmistojen kehittämistä ja validointia varten tiedeyhteisölle. LUT:ssakin on perinteisiä ”termohydrauliikkaohjelmia” ollut käytössä koetoiminnan ohessa, painottuen nykyisellään kokeiden ja laitteistojen suunnittelun tukemiseen. LUT:ssa käytetään tutkimustyössä aktiivisesti myös muita ohjelmistosovelluksia eri aihepiireissä, esim. reaktorifysiikan sovellusohjelmat ja CFD-ohjelmistot.

Erityisen aktiivinen LUT on ollut viime aikoina CFD-ohjelmien kehittämisessä ja validoinnissa. Uudet mittausmenetelmät (Particle Image Velocimetry – PIV, Wire Mesh Sensor – WMS, suurnopeuskamerat) mahdollistavat sekä paikan että ajan suhteen entistä tarkemmat mitaukset koko putken poikkileikkauksessa tai muussa geometriassa. LUT:ssa on näistä sovelluksista esimerkiksi lanka-antureita (WMS) käytetty kaksifaasisen putkivirtauksen parametrien selvittämiseen, PIV:iä virtauskenttien määrittämiseen PPOOLEX-laitteistossa ja suurnopeuskameroita tallentamaan kuviksi höyrykuplan nopea lauhtuminen, [8]. Suurnopeuskameroiden datasta saadaan hahmontunnistusmenetelmil-

lä numeeriset arvot höyrykuplan koolle eri ajanhetkinä. Näiden menetelmien avulla on tuotettu korkeatasoista dataa, jota on käytetty CFD-ohjelmien mallien kehittämiseen ja testaamiseen.

LUT:in ydintekniikan laboratoriossa pidetään yllä ja kehitetään mitaustekniikan alueella teknistä osaamista ottamalla käyttöön ja hyödyntämällä koetransienteista enemmän tietoa antavia uudenlaisia mittaustekniikoita ja vaativia mittaustekniikoita. Seuraava tarkastelun kohde on optisen kuidun käyttö lämpötilan mittaamisessa. Tämä menetelmä mahdollistaa yhdellä optisella kuidulla esimerkiksi yhden höyrystintputken sisälämpötilan mittaamisen koko putken matkalta n. 5 mm resoluutiolla, kunhan instrumentin läpiviennin paineenkesto saadaan ratkaistua. Vaikka uutta suunnitellaan, niin ”vanhus” (PACTEL, PWR PACTEL)

on vielä toki voimissaan. Esimerkiksi OECD:n PKL3-ohjelma päättyi tänä vuonna, ja seuraajaa, PKL4-ohjelmaa, aloitellaan kovaa vauhtia; kick-off kokous on marraskuussa. PWR PACTELilla tehtiin PKL3-ohjelmassa kolme koesarjaa, aiheina luonnonkierron pysähtyminen/kääntyminen, täydellinen sähkönmenetystilanne sekä virtauksen kääntyminen höyrystintputkissa. Alkavassa uudessa ohjelmassa PWR PACTEL-kokeet keskittyvät paineakusta vapautuvan tyypin vaikutuksiin reaktorisydämen jäädytyksessä. Toki muitakin kokeita on meneillään: esim. PWR PACTELilla ja PPOOLEXilla ollaan mukana SAFIR-hankkeissa. Lappeenrannassa 40-vuotisen kokemuksen siivittämänä hommat jatkuvat motolla ”vierivä kivi ei sammaloidu”!

Viitteet

- [1] Kyrki-Rajamäki, R., Purhonen, H., Ydinturvallisuutta yliopistosta. *ATS Ydintekniikka*, 2/2005, vol. 34, pp. 6–8. Suomen Atomiteknillinen Seura ry, 2005, ISSN 0356–0473.
- [2] Purhonen, H., *Experimental Thermal Hydraulic Studies on the Enhancement of Safety of LWRs*. Acta Universitatis Lappeenrantaensis 293. Lappeenranta University of Technology, Digipaino 2007. Lappeenranta 2007. ISBN 978–952–214–500–0. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-214-505-5>.
- [3] Purhonen, H., Puustinen, M., Riikonen, R., Kyrki-Rajamäki, R., Vihavainen, J., 2006. PACTEL integral test facility – Description of versatile applications. *Annals of Nuclear Energy* 33(11–12), 994–1009 (Elsevier 2006) ISSN 0306–4549. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anucene.2006.05.011>.
- [4] Kouhia, V., Purhonen, H., Riikonen, V., Puustinen, M., Kyrki-Rajamäki, R., Vihavainen, J., PACTEL and PWR PACTEL Test Facilities for Versatile LWR Applications. *Science and Technology of Nuclear Installations*, Vol. 2012, Article ID 548513, Hindawi Publishing Corporation. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/548513>.
- [5] Rantakaulio, A., Kouhia, V., Lappeenrannassa kaikki Suomen laitokset samassa hallissa. *ATS Ydintekniikka*, 2/2009, vol. 38, pp. 24–25. Suomen Atomiteknillinen Seura ry, 2009, ISSN 0356–0473.
- [6] Puustinen, M., Kyrki-Rajamäki, R., Tanskanen, V., Räsänen, A., Purhonen, H., Riikonen, V., Laine, J., Hujala, E., BWR Suppression Pool Studies with POOLEX and PPOOLEX Test Facilities at LUT. The 15th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermalhydraulics, NURETH-15, Pisa, Italy, May 12–17, 2013.
- [7] Tuunanen, J., Tuomisto, H., Raussi, P., Experimental and analytical studies of boric acid concentrations in a VVER-440 reactor during the long-term cooling period of loss-of-coolant accidents, *Nuclear Engineering and Design* 148(2–3):217–231 · July 1994. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0029-5493\(94\)90111-2](http://dx.doi.org/10.1016/0029-5493(94)90111-2).
- [8] Tanskanen, V., CFD Modelling of Direct Contact Condensation in Suppression Pools by Applying Condensation Models of Separated Flow. Acta Universitatis Lappeenrantaensis 472. Lappeenranta University of Technology, Digipaino 2012. Lappeenranta 2012. ISBN 978–952–265–221–8. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-265-222-5>.

Kirjoittajat:



TKT Heikki Purhonen
Tutkimusjohtaja
Lappeenrannan teknillinen yliopisto
heikki.purhonen@lut.fi



DI Virpi Kouhia
Projektitutkija
Lappeenrannan teknillinen yliopisto
virpi.kouhia@lut.fi

KYT2018-tutkimusohjelma – kyllä ydinjäte tunnetaan

Kari Rasilainen, Aku Itälä
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Suomalainen ydinjätehuollon ohjelma on maailman edistyneimpiä. Täällä on siis tehty jotain oikein: Suomessa on osattu yhdistää tieteellinen tutkimus, päätöksenteko, viranomaistarpeet ja luvanhakijatarpeet. Artikkelissa pohditaan KYT2018-ohjelman (Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma) roolia tässä menestystarinassa. Erityisesti kiinnitetään huomiota KYT2018:n eroihin edeltäjänsä KYT2014-ohjelmaan ja sen kytkeytymiseen koko suomalaiseen ydinenergia-alan tutkimusstrategiaan.

Finnish nuclear waste management programme is globally one of the most advanced. We have therefore done something right in this country: we have managed to link scientific research, decision making, and the needs of regulators and licence applicants. The role of KYT2018 research programme (Finnish Research Programme on Nuclear Waste Management) in this success story is discussed in the article. Special attention is paid to differences of KYT2018 from its predecessor KYT2014, and its coupling to national Nuclear Energy Research Strategy.

Suomessa on ollut koordinoituja julkisia ydinjätehuollon tutkimusohjelmia eri nimillä vuodesta 1989 alkaen ja nyt on menossa KYT2018. KYT2018-tutkimusohjelmankin lähtökohdat perustuvat ydinenergialakiin (990/1987, 53 b §), jonka mukaan tutkimustoiminnan tavoitteena on ”varmistaa, että viranomaisten saatavilla on riittävästi ja kattavasti sellaista ydinteknistä asiantuntemusta ja muita valmiuksia, joita tarvitaan ydinjätehuollon erilaisten toteutustapojen ja menetelmien arviointiin”.

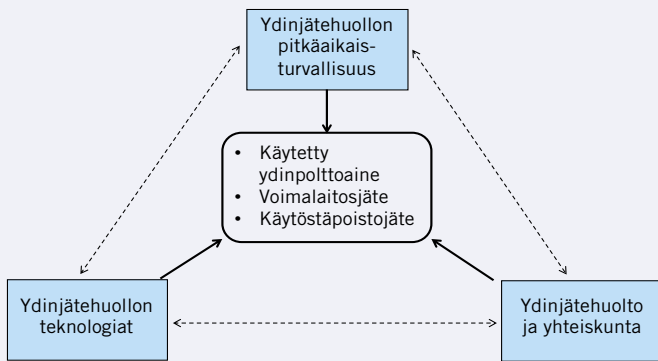
Viranomaiset puikoissa

Tutkimusohjelma on tukevasti suomalaisten viranomaisten käsissä. Johtoryhmän puheenjohtaja on Säteilyturvakeskuksesta (STUK) ja varapuheenjohtaja työ- ja elinkeinoministeriöstä (TEM). Tutkimusohjelman kahden teknistieteellisen tukiryhmän puheenjohtaja on STUKista ja yhteiskuntatieteellisen tukiryhmän puheenjohtaja TEM:stä. Johtoryhmän kokoonpano vuoden 2015 lopussa on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. KYT2018-tutkimusohjelman johtoryhmä.

Jäsen (varajäsen)	Organisaatio	Tehtävä
Jarkko Kyllönen (Kaisa-Leena Hutri)	STUK	puheenjohtaja
Mikko Paunio (Jari Keinänen)	STM	
Miliza Malmelin (Magnus Nyström)	YM	
Sami Hautakangas (Kristiina Söderholm)	Fortum	
Marjut Vähänen (Lasse Koskinen)	Posiva	
Nina Paaso (Liisa Heikinheimo)	TVO	
Linda Kumpula (Jorma Aurela)	TEM	varapuheenjohtaja
Mia Ylä-Mella (Ville Koskinen)	Fennovoima	asiantuntija

KYT2018 aihepiirit



Kuva 1. KYT2018-tutkimusohjelman aihepiirit.

Ydinjätehuollon toimintaympäristö muuttuu

Tutkimusohjelma pyrkii vastaamaan olemassa oleviin ja näköpiirissä oleviin tutkimushaasteisiin. Nykyiseen ohjelmakauteen 2015–2018 ajoittuu Suomessa useita ydinjätehuoltoon suoraan ja välillisesti liittyviä päätöksiä ja valintoja. Posivan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitos sai rakentamisluvan Eurajoen Olkiluotoon vuonna 2015 (hakemus jätettiin vuonna 2012). Käyttölupaa haetaan nykyisen aikataulun mukaan noin vuonna 2020. Ohjelmakaudella pyritään ottamaan nyt rakenteilla oleva Olkiluoto 3 -ydinvoimalaitosyksikkö käyttöön ja etenemään Hanhikivi 1 -ydinvoimalaitoksen rakentamislupavaiheeseen vuonna 2010 myönnetyn periaatepäätöksen mukaisesti. Fennovoiman käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitushanke eteni kesällä 2016 YVA-menettelyyn (ympäristövaikutusten arviointi). Fennovoima selvittää tulevana vuosina oman kapse-

lointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisesta ja käytöstä mahdollisesti aiheutuvia ympäristövaikutuksia Eurajoella ja Pyhäjoella.

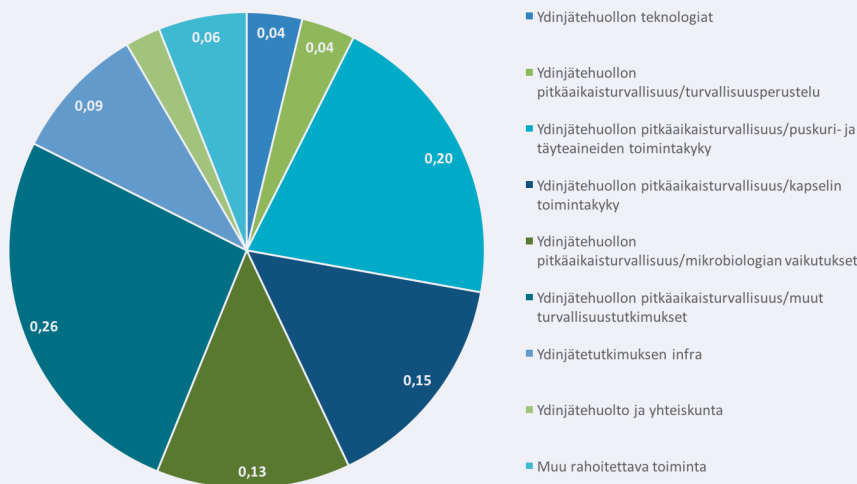
Otaniemessä sijaitsevan VTT:n tutkimusreaktorin käytöstäpoisto on menossa; YVA-menettely on saatettu päätökseen helmikuussa 2015. Tutkimusreaktori on Suomen ensimmäinen käytöstä poistettava ydinreaktori; kertyvä kokemus hyödyttäneenä jatkossa myös tehoaktoreiden käytöstä poistossa. VTT on käynnistänyt Otaniemessä Ydinturvallisuustalo-rakennushankkeen vuoden 2014 alkupuolella. Ydinturvallisuustalo on viime vuosien merkittävimpiä kotimaisia tutkimusinfrastruktuurihankkeita. Rakennus otetaan suurimmalta osaltaan käyttöön vuoden 2016 loppuun mennessä.

Myös kansainvälinen toimintaympäristö ja sen muutokset voivat vaikuttaa KYT-ohjelman painotuksiin. Esimerkiksi EU-lainsäädäntöön kuuluva ydinjätedirektiivi vaikuttaa toimialan käytäntöihin ja suunnitelmiin. Ruotsissa saatetaan loppuun vuonna 2011 viranomaisille jätetty käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemuksen käsittely. Vuonna 2009 perustettiin Euratomin piirissä teknologiafoorumi IGD-TP (Implementing Geological Disposal – Technology Platform), jonka tehtävänä on koordinoida Euratomissa tehtävää ydinjätehuollon tutkimusta.

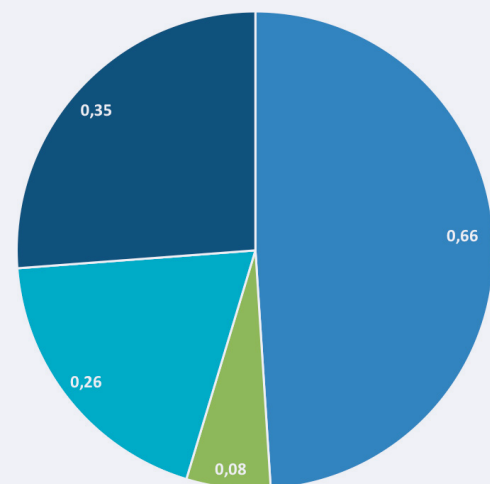
Miten tutkimusohjelman prioriteetit asetetaan

Tutkimusohjelman peruslähtökohtana on puiteohjelma, joka muotoillaan ennen tutkimusohjelman alkamista ja joka pysyy samana koko tutkimuskauden. Puiteohjelman tekemiseksi TEM nimesi ydinjätehuollon toimijoista valmisteluryhmän. Puiteohjelmaa kirjoitettaessa otettiin huomioon lähinnä kolme asiaa:

1. Ydinjätehuollon toimijoiden omat tutkimustarpeet muodostavat ajankohtaisen kotimaisen perusrakenteen.
2. Ydinenergia-alan tutkimusstrategia, jonka TEM:n vetämä ydinenergia-alan tutkimuksen strategiaryhmä (ns. YES-ryhm) muotoili



Kuva 2. KYT2018: VYR-tutkimus- ja infrarahoituksen avoimen hankehaun rahoituksen osuuden eli 1672 k€ jakautuminen tutkimusaiheittain vuonna 2016.



Kuva 3. KYT2018: Tutkimusaiheen Muut turvallisuus VYR-rahoitusosuudet vuonna 2016.

vuosina 2013–2014, muodostaa tulevaisuuteen (vuoteen 2030) katsovan strategisen komponentin.

- KYT2018-ohjelman edeltäjän KYT2014-ohjelman kansainvälinen arvio suosituksineen vuodelta 2012 muodostaa parhaisiin kansainvälisiin käytäntöihin vertautuvan osan.

Seuraavassa poimitaan edellä mainittujen lähtökohtien vaikutuksia puiteohjelmaan. Suomalaisten ydinjätehuollon toimijoiden tutkimustarpeista on johdettu puiteohjelman aihepiiriksi ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus. Ydinenergia-alan tutkimusstrategiasta on johdettu tutkimusaiheita tämän aihepiirin sisälle. Kansainvälisestä arviosta saatiin perusteltu näkemys, että KYT2014-ohjelma saavutti puiteohjelmassa ilmoittamansa päätavoitteet, jolloin puiteohjelman dramaattisiin muutoksiin ei ollut tarvetta.

Puiteohjelman lisäksi KYT2018-hankehakuun kuuluu aina johtoryhmän laatima evästys. Sen tehtävänä on täydentää puiteohjelman yleisempiä linjauksia mahdollisilla ajankohtaisilla tutkimustarpeilla tai painotuksilla. Koska johtoryhmä koostuu suomalaisista ydinjätealan toimijoista, evästykset edustavat selkeästi suomalaisia tutkimustarpeita. Vuonna 2016 evästyksessä korostettiin usean tutkimuslaitoksen yhteisvoimin tehtävien koordinoitujen hankkeiden tärkeyttä keskeisimmissä tutkimusaiheissa. Sen lisäksi korostettiin tutkimushankkeiden turvallisuusmerkityksen kuvaamisen tärkeyttä.

Tutkimusaiheet

KYT2018-ohjelman tutkimukset jaetaan sisällöllisiin toistensa kanssa vuorovaikuttaviin aihepiireihin (1) ydinjätehuollon teknologiat, (2) ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuus sekä (3) ydinjätehuolto ja yhteiskunta, kuva 1.

Vuonna 2016 KYT2018-ohjelmalle Valtion ydinjätehuoltorahastosta (VYR) myönnetty kokonaisrahoitus on noin 2,9 M€, josta kaikille avoi-

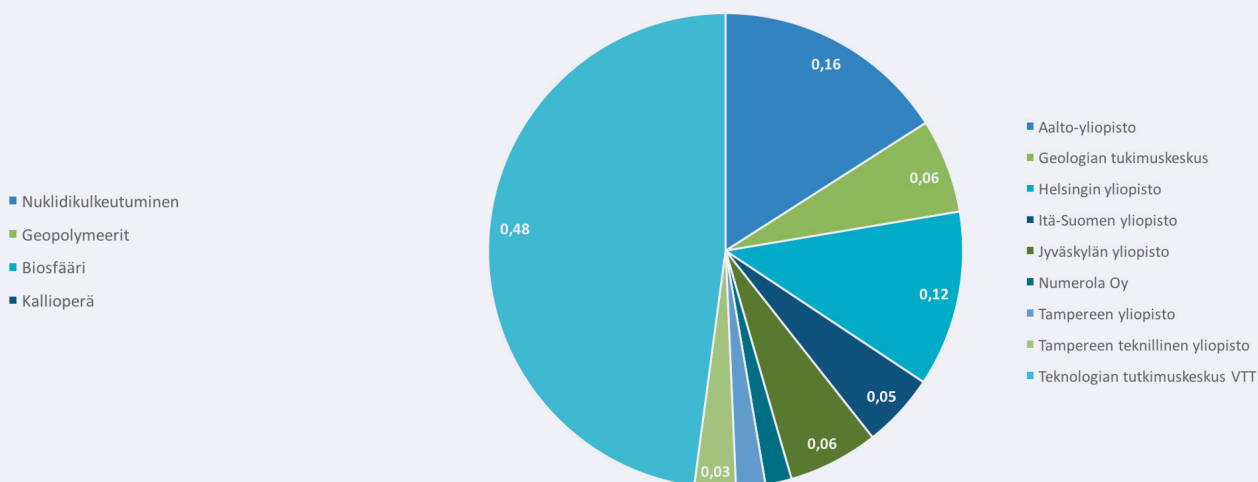
KYT-ohjelmassa on vahvistettu Posivan oman tutkimuksen tulkintoja

Posiva Oy on ollut KYTin toiminnassa mukana alusta alkaen ja kokenut KYTin puitteissa tehtävät tutkimukset pääsääntöisesti merkittäviksi ydinjätteiden loppusijoituksen kannalta. KYTin rahoittamissa tutkimuksissa on perehdytty menetelmien kehitykseen sekä vertailevaan tutkimukseen. Useat tutkimukset ovat olleet Posivan omia tutkimuksia tukevia ja siten vahvistaneet Posivan tutkimusten tulkintoja. KYT-ohjelmilla on suuri merkitys myös alan koulutusta ajatellen ja uusia osajia on saatu koulutetuksi niin ydinjalalle kuin ydinjätteiden loppusijoitukseen. Koulutuksen lisäksi suomalaisten osajien keskuudessa on luotu uusia kansainvälisiä yhteyksiä.

Posivan kannalta merkittäviä tutkimushankkeita on ollut etenkin kapselin toimintakykyyn sekä teknisiin vapautumisesteisiin ja niiden toimintaan liittyen. Lisäksi mikrobien tutkiminen on ollut kattavaa niin teknisien vapautumisesteiden kuin pohjavesienkin osalta.

Posivan tutkimuspäällikkönä olen ollut mukana KYT-hankkeiden seurantaohjelmassa jo KYT2010-ohjelmasta alkaen. Mielestäni ohjelmassa mukana oleminen on ollut hyvin antoisaa ja yhteistyö niin tutkijoiden kuin voimayhtiöiden kanssa on sujunut hyvin. Keskustelu on tapaamisissa aina vilkasta ja kehittäväää. Erittäin hyvänä asiana näen sen, että KYT-ohjelmassa halutaan tasapuolisesti kehittää niin voimalaitoksia kuin loppusijoitusta tukevia tutkimushankkeita.

Anne Kontula, Posiva



stutkimukset suhteelliset

Kuva 4. KYT2018: VYR- tutkimus- ja infrarahoituksen avoimen hankehaun rahoituksen osuuden eli 1672 k€ jakautuminen tutkimuslaitoksittain vuonna 2016.

men tutkimus- ja infrastruktuurihankehaun rahoitus on noin 1,7 M€. Kaikille avoimen tutkimus- ja infrastruktuurihankehaun hankkeisiinsa tutkimuslaitokset ohjaavat omaa rahoitusta vuonna 2016 noin 1,0 M€. Kaikkiaan tutkimusohjelmassa myönnettiin VYR-rahoitusta 32 tutkimus- ja infrastruktuurihankkeelle, joista kolme koski Ydinturvallisuustaloa. Tutkimushankkeiden lisäksi vuonna 2016 VYR:n varoista rahoitetaan tutkimusohjelman hallintohanke. VYR-rahoituksen jakautuminen avoimessa haussa eri tutkimusaihepiireihin on esitetty kuvissa 2 ja 3 ja eri tutkimuslaitoksille kuvassa 4.

Verrattuna aiempaan tutkimusohjelmaan KYT2018-ohjelmassa on nostettu mikrobiologian vaikutus keskeisimpien tutkimusaiheiden joukkoon ydinjätehuollon pitkäaikaisturvallisuuden aihepiirissä. Muita aihepiiriin keskeisimpiä tutkimusaiheita ovat turvallisuusperustelu, pus-kuri- ja täyteaineiden toimintakyky ja kapselin toimintakyky. Kaikista edellä mainituista tutkimusaiheista on menossa tutkimuslaitosten yhteisvoimin useampivuotiset koordinoitujen hankkeet.

Toinen uusi asia on tutkimusinfrahankkeiden nostaminen rahoitettavien hankkeiden joukkoon, mikä heijastelee VTT:n Ydinturvallisuustalon suurta kansallista merkitystä. Vuonna 2016 tutkimusinfrahankkeille myönnettiin VYR-rahoitusta yhteensä noin 1,3 M€, mikä on noin 45 % VYR-rahoituksesta. Tutkimusinfrahankkeita on vuonna 2016 kolme kappaletta, jotka kaikki saavat rahoitusta myös SAFIR2018-ohjelmasta. Kaikki KYT-ohjelmassa olevat infrahankkeet koskevat uutta Ydinturvallisuustaloa: ne suuntautuvat laboratorio-osan toimintakuntoon saattamiseen, investointeihin ja toimitilakustannuksiin.

Kansainvälinen arvio 2016

KYT-ohjelmissa on muodostunut perinteeksi, että niiden kansainvälinen arvio järjestetään tutkimusohjelman puolivälissä. KYT2018-

ohjelman kansainvälinen arvio toteutetaan syksyllä 2016. TEM on käynnistänyt valmistelut ja suunnitelman mukaan arviointiraati koostuu yhdestä suomalaisesta ja kahdesta kansainvälisesti tunnetusta ydinjätehuollon asiantuntijasta. Suomalaisen asiantuntijan mukanaolo mahdollistaa tarvittavan ”paikallistuntemuksen” saamisen arviointiprosessiin.

Toistuvilla kansainvälisillä arvioilla saadaan tutkimusohjelmaan riippumatonta asiantuntijapalautetta, jonka taustana ovat muissa maissa vallitsevat käytännöt. Tämä auttaa osaltaan pitämään tutkimusohjelman painopisteen kohdallaan.

Tutkimusohjelman rooli

KYT2018 on yksi osa suomalaista ydinjätehuollon menestystarinaa. Tutkimusohjelma toimii viranomaisten, ydinjätehuoltoa toteuttavien organisaatioiden ja tutkimuslaitosten välisenä keskustelu- ja tiedonvälitysoorumina. Näin luodaan edellytyksiä rajallisten tutkimusresurssien tehokkaalle hyödyntämiselle ja varmistetaan siitä, että yksittäisiin tutkimushankkeisiin saadaan riittävän monipuolinen ja poikkeittieteellinen tutkimusryhmä sekä asiantunteva tukiryhmä. Tehokkaalla tiedonvaihdoilla voidaan myös välttää mahdollista päällekkäistä tutkimusta sekä koordinoita esimerkiksi kansainvälisiin hankkeisiin osallistumista.

Erityisen tärkeänä voidaan pitää tutkimusohjelman koulutusroolia, sillä sen piirissä toteutetaan useita ydinjätehuollon aihepiirien opinnäytetöitä (ks. artikkeli KYT2014-ohjelman tuloksista ATS Ydintekniikan numerossa 4/2015), mikä osaltaan tuo toimialalle uusia asiantuntijoita. Heitä tarvitaan kipeästi, koska Suomessa on samanaikaisesti menossa ensimmäisen ydinenergiasukupolven eläköityminen ja merkittäviä ydinlaitosten rakennushankkeita.

Kirjoittajat



Tkt Kari Rasilainen

Tiimipäällikkö, KYT2018-tutkimusohjelman koordinaattori
Toimi YES-ryhmässä ydinjätehuolto-jaoston vetäjänä
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
kari.rasilainen@vtt.fi



DI Aku Itälä

Tutkija
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
aku.itala@vtt.fi

KYT2018-ohjelman kotisivut löytyvät osoitteesta: kyt2018.vtt.fi/, siellä on myös linkki KYT2014-ohjelman loppuraporttiin
Ydinenergia-alan tutkimusstrategia löytyy osoitteesta: tem.fi/documents/1410877/2859687/Ydinenergia+alan+tutkimusstrategia+17042014.pdf
KYT2014-ohjelman kansainvälinen arvio löytyy osoitteesta: http://kyt2014.vtt.fi/docs/TEM_report_10_2013_final.pdf

Uudistunut SAFIR2018-ohjelma

Jari Hämäläinen
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Käynnissä oleva ydinvoimalaitosten kansallisen turvallisuustutkimuksen ohjelma SAFIR2018 jatkaa uudistuneena vuodesta 1990 alkanutta alan tutkimuksen perinnettä. Ohjelma hieman supistui toimintaympäristön muutosten vuoksi vuoden 2015 8,5 M eurosta 6,8 M euroon vuonna 2016, mutta SAFIR2018 on edelleen kansainvälisestikin merkittävä tekijä ydinvoimaloiden turvallisen toiminnan edistämässä ja asiantuntijoiden kouluttamisessa.

The ongoing SAFIR2018 – Finnish Nuclear Power Plant Safety Research Programme 2015–2018 continues the national nuclear safety research tradition since 1990. In spite of a decrease in the volume of the programme from 8,5 M€ in 2015 to 6,8 M€ in 2016 due to recent changes in the operational environment, SAFIR2018 is still an important programme for the advancement of nuclear power plant safety and education of experts. Almost all SAFIR2018 projects involve international co-operation.

Kansallisia tutkimusohjelmia vuodesta 1990

Kansalliset ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimuksen ohjelmat on vuodesta 2003 tunnettu nimestä SAFIR (SAfety of nuclear power plants – Finnish national Research programme): SAFIR (2003–2006), SAFIR2010 (2007–2010), SAFIR2014 (2011–2014) ja SAFIR2018 (2015–2018). SAFIR-ohjelmia edelsivät FINNUS (1999–2002) sekä RATU2-RETU (1995–1998) ja RATU-YKÄ (1990–1994).

Ohjelmien laajuus ennen SAFIR2018:n [1] alkamista on ollut yhteensä 143 M€ ja tutkimustyötä on tehty 1165 henkilötyövuotta [2]. Myös tuloksia on saatu aikaan: 4544 julkaisua, 45 tohtoria ja 139 diplomi-insinööriä ja lisensiaatin tutkintoa tai vastaavaa. Kun lisäksi tutkimusaiheet on valittu loppukäyttäjien tarpeet huomioiden ja Säteilyturvakeskuksen (STUK) sekä voimayhtiöiden edustajat ovat olleet varsinkin viimeisissä ohjelmissa yhä vahvemmin päättämässä rahoitettavista tutkimusaiheista, voidaan hyvin perustein arvioida, että ohjelmien vaikutus suomalaisten ydinvoimaloiden toiminnan turvallisuuteen ja alan asiantuntemuksen säilymiseen on ollut merkittävä. SAFIR2014-ohjelma päättyi vuoden 2015 alussa ja sen loppuseminaarista on julkaistu kirjoituskin ATS Ydintekniikassa [3].

SAFIR2018:n tutkimuksellista sisältöä ohjaavat ohjelman runkosuunnitelma [4] ja siihen vuosittaisen tutkimushaun yhteydessä mahdollisesti tehtävät tarkennukset, painotukset ja lisäykset. ATS Ydintekniikassa on jo aiemmin kuvattu SAFIR2018-ohjelman runkosuunnitelmaan perustuen ohjelman ennakoitua toimintaympäristöä, sisältöä ja vaikuttavuustavoitteita yleisellä tasolla [5]. Tässä kirjoituksessa kuvataan erityisesti muuttuneen toimintaympäristön vaikutusta, ohjelman tutkimuksellisia tavoitteita ja uusia toimintatapoja.

Toimintaympäristössä muutoksia

SAFIR2018:n pääasiallinen rahoittaja on Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR), jonka ydinturvallisuustutkimusrahoitukseen kerätään varoja vuosit-

taisilla maksuilla ydinvoimalaitosten luvanhaltijoilta. Maksut perustuvat käynnissä olevan laitoksen tai periaatepäätöksen sallimaan suurimpaan nimellislämpötehoon. SAFIR2014-ohjelman viimeisenä tutkimusvuotena 2014 olivat käynnissä olevien laitosten käyttöluopien lisäksi voimassa sekä Hanhikivi 1:n että Olkiluoto 4:n periaatepäätökset ja ohjelman VYR-rahoitus oli 5,7 M€. Hanhikivi 1 -ydinvoimalaitosyksikön reaktorityypin valinta pienensi tutkimushankkeisiin käytettävissä olevaa rahoitusta 1.1.2015 alkaen ja Olkiluoto 4 -projektin keskeytyminen 1.1.2016 alkaen.

SAFIR2018:n suunniteltu kokonaisrahoitus tutkimusvuotena 2016 on 6,8 M€, josta VYR-rahoituksen osuus on 4,1 M€ (60%). Toiseksi suurin rahoittaja on VTT (1,4 M€). Tutkimusta tehdään 28 projektissa, joiden suunniteltu työ määrä on yhteensä 42 henkilötyövuotta.

Fukushima Daiichin onnettomuuteen liittyviä kansainvälisiä hankkeita ja selvityksiä otetaan huomioon SAFIR2018:n tutkimuksen sisällössä vielä ohjelman aikanaan. SAFIR2010:n loppuseminaarini osallistuneet kuulivat seminaarin lopussa perjantaina 11.3.2011 ensimmäiset uutiset tsunamista ja sen vaikutuksista ja tapahtumat ehtivät vaikuttaa jo monen SAFIR2014:n projektin tutkimusaiheisiin ohjelman alkamisen jälkeen [2].

Runkosuunnitelman sisältämä kansallisen ja kansainvälisen toimintaympäristön kuvaus on pääosin edelleen ajan tasalla. Toimivien ja rakenteilla olevien laitosten luvitukset, tarve alan asiantuntijoista, tutkimusinfrastruktuurin uudistaminen, uudet kansalliset ja kansainväliset säännöt ja kansainvälisen verkottumisen voimistuminen asettavat vaatimuksia ohjelmassa tehtävälle tutkimustyölle.

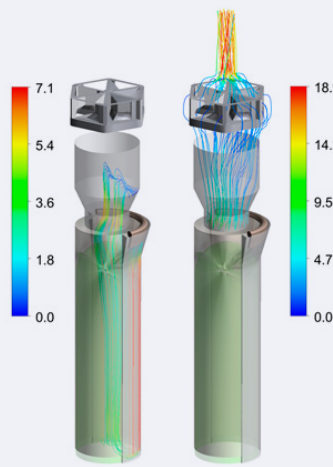
Tutkimuksen tavoitteet

Käynnissä olevan ohjelman konkreettiset tutkimustavoitteet muodostuvat rahoitettavaksi valittujen projektien tavoitteista. Ohjelman vuosisuunnitelmassa [6] kuvataan vuosittaiset tavoitteet projekteittain ja vastaavasti vuosiraportissa keskeisimmät tulokset [7].

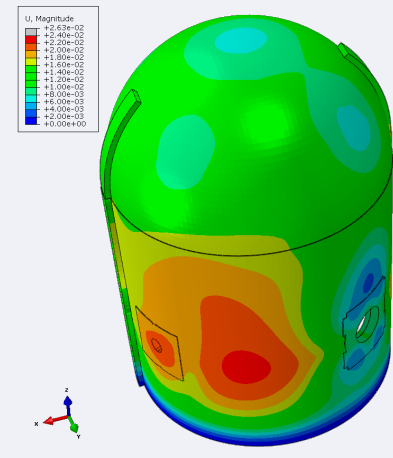
Hankkeiden valmisteluun ja rahoitettavien tutkimusaiheiden valintaan vaikutetaan runkosuunnitelmassa [4] kuvatuilla tavoit-



Plant safety and systems engineering



Reactor safety



Structural safety and materials

Kuva 1. SAFIR2018-ohjelman tutkimusalueet. (Kuvat: Fortum, VTT, VTT)

TVO:n turvallisuuden varmistamisen agendalla SAFIR2018-ohjelma

Mitä hyötyä SAFIR-ohjelmasta on voimayhtiölle? – lyhyesti vastatuna SAFIR-ohjelmat ovat suomalaisen ydinturvallisuustutkimuksen peruskiveä, tehokas verkosto ja kovan luokan tutkimusfoorumi. Virallisesti 21 TVO:n asiantuntijoista on mukana SAFIRin ohjaus- ja tukiryhmissä. Heidän lisäksi useita henkilöitä osallistuu suoraan projektiyhteistyöhön ja on jakamassa tietoa projekteista ja niiden tuloksista. TVO:n turvallisuustutkimuksen ryhmä kokoontuu yhteen noin neljä kertaa vuodessa keskustelemaan tutkimustarpeista, käynnissä olevista projekteista, yhteistyömahdollisuuksista ja SAFIR-ohjelman kehittämisestä. Tutkimuksellisten projektien toteutuksessa on jokaisessa ohjausryhmässä käynnissä myös erityisesti TVO:ta kiinnostavia hankkeita, joiden hyödyntämistä jatketaan omien asiantuntijoiden työn kautta.

Ohjelma on kehittynyt viime vuosien aikana monella tavalla; tarve vastata muuttuvaan toimintaympäristöön ja laitosten muuttuviin tarpeisiin on pystytty ottamaan huomioon entistä paremmin. SAFIR-ohjelmassa käynnistetyssä strategiatyössä ei toimintaympäristöanalyysi ole jäänyt vain ulkoisten tekijöiden kuvaamiseen vaan on pohdittu, miten ohjelma asennoituu muuttuvassa ympäristössä. Tämä proaktiivinen toiminta-ajatus on osoittautunut hyväksi niin ohjelman ulkopuolisia suhteita solmittaessa kuin ohjelman sisäisen keskustelun eteenpäinviemisessä.

Tärkeimpänä muutoksena, joka myös tuo lisäarvoa kaikille toimijoille, SAFIR-ohjelmassa pidän avautumista kansainvälisille tutkimusohjelmille ja yhteistyökumppaneille. Yhteistyö on välttämätöntä, turvallisuustutkimuksessa tämä konkretisoitui selvästi Fukushimaa jälkeen tehdyissä selvityksissä. Ohjelmassa kansainvälistyminen on tietysti harkittava ja toimintatavat kehitettävä tavoitteiden mukaan.

Oli kuitenkin hienoa nyt syyskuussa lukea eurooppalaisen NUGENIA-assosiaation tiedote, jossa kerrottiin yhteistyösopimuksesta suomalaisen SAFIR-ohjelman kanssa. Ponnistelut eivät ole menneet hukkaan ja ohjelman on mahdollista laajentua alueille joissa omaa osaamista ei ole riittävästi tai saada käyttöön valmiuksia joita halutaan testata. Tämän kehityksen toivomme jatkuvan. Odotukset suuntautuvat erityisesti Ruotsiin, jossa on TVO:n kannalta tärkeät sisarlaitokset, mutta myös tarpeita jakaa tutkimusaktiviteetteja pidemmällä tähtäimellä. Aito yhteistyö lähtee kasvamaan kun pääsemme projektitaso suunnittelusta ohjelmataso suunnitteluun ja voimme vaikuttaa jo strategiatasolla yhteistyön rakentamiseen.

Ohjelman sisäisessä kehityksessä on ollut tärkeää ohjelman rakenteen uudistaminen, jossa tavoitteena on koota yhteen suurempia kokonaisuuksia ja toisaalta lisätä substanssikeskustelua tukiryhmissä. Mielenkiintoisia ovat olleet myös viime vuosien uudet esitutkimusprojektit, joita varten ohjelmassa on varattu pienimuotoista rahoitusta. Esiselvitysaiheista esimerkiksi polymeerimateriaalien vanheneminen, josta osaamista ei ole ollut riittävästi käytettävissä, on ollut varsin onnistunut. Samoin selvitys kokonaisturvallisuusajattelusta on osoittautunut erittäin tarpeelliseksi ja siinä on onnistuttu keräämään kokeneita keskustelijoita laitoksilta tutkijoiden kanssa saman pöydän ääreen. Uusia tarpeita nähdään nyt laitosten eliniänhallinnan piiristä. Kiinnostavaa olisi saada yhteistyö käyntiin liittyen Barsebäckin laitoksen purkamiseen ja sieltä saataviin tietoihin ja näytteisiin. Todellisen voimalaitoksen komponenteista saatavalla tiedolla voitaisiin varmasti varmentaa nykyisiä tutkimuksen malleja, joita voidaan edelleen käyttää pitkän käyttöiän vaikutusten arviointiin.

Liisa Heikinheimo, TVO

teilla. Tavoitteet perustuvat pohjimmiltaan ydinenergialain lukuun 7a "Asiantuntemuksen varmistaminen", jossa kansallisen ydinturvallisuustutkimuksen tutkimuksen tavoitteeksi asetetaan, että jos ilmenee ydinlaitosten turvallisen käytön kannalta uusia seikkoja, joita ei ole ollut mahdollista ottaa ennalta huomioon, viranomaisten saatavilla on riittävästi ja kattavasti sellaista ydinteknistä asiantuntemusta ja muita valmiuksia, joita käyttäen voidaan tarvittaessa viivytyksettä selvittää tällaisten seikkojen merkitys.

SAFIR2018:n tavoitteena on varmistaa asiantuntemus etenkin aihepiireissä, joissa Suomessa ei muuten tehtäisi tutkimusta. SAFIR2018-ydinturvallisuushjelman tutkimushankkeiden vaaditaan olevan tieteellisesti korkeatasoisia ja niiden tulosten on oltava julkaistavissa. Tulosten tulee olla myös laajasti hyödynnettävissä, joten tutkimusaiheet eivät voi rajoittua vain yhden luvanhaltijan ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimuksiin.

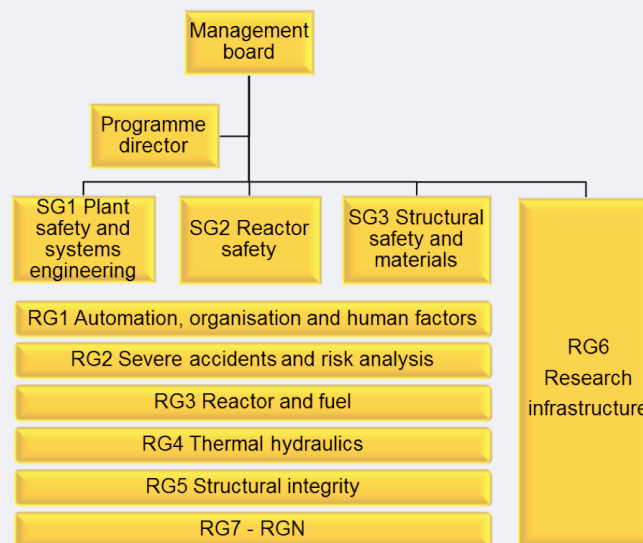
Kansallisen tutkimuksen korkean tieteellisen tason merkitys korostuu toiminnan kansainvälistyessä, koska vain korkeatasoinen osaaminen ja infrastruktuuri tekevät mahdolliseksi kasvavan osallistumisen kansainväliseen tutkimusyhteistyöhön. Etenkin kokeelliset ympäristöt ovat kalliita ja huolimatta merkittävästä kotimaisesta lähivuosien panostuksesta osallistuminen kansainvälisiin kehityshankkeisiin ja kansainvälisen infrastruktuurin hyödyntäminen on välttämätöntä kotimaisen toiminnan korkean tason säilyttämiseksi.

SAFIR2018-ohjelmaan suunniteltu tutkimus on ryhmitelty kolmeen tutkimusalueeseen: kokonaisturvallisuus ja suunnittelun hallinta, reaktoriturvallisuus sekä rakenteellinen turvallisuus ja materiaalit (kuva 1). Lisäksi omana kokonaisuutenaan on kansallisen tutkimusinfrastruktuurin kehittäminen.

Kokonaisturvallisuus ja suunnittelun hallinta muodostavat laaja-alaisen ja poikkitieteellisen tutkimuskokonaisuuden, joka vaatii syvästä yhteistyöstä tutkimusorganisaatioilta ja muilta ydinvoima-alan toimijoilta. Keskeisiä tutkimusaiheita ovat toimintojen ja tekniikan alojen rajapinnat sekä laitoksen kokonaisuuden kannalta merkittävät aiheet, kuten suunnitteluperusteet sekä ihmisten ja organisaatioiden toiminta. Uudet tekniset ratkaisut vaativat myös uudenlaisia menetelmiä järjestelmien käyttäytymisen ja turvallisuuden arvioimiseksi.

Reaktoriturvallisuuden alueella keskeinen tavoite on varmistaa, että Suomessa on koelaitteistoja ja kelpuutettuja laskentamenetelmiä sekä niiden käytön hallitsevaa henkilöstöä. Alue sisältää termohydrauliikan, reaktoridynamiikan ja polttoaineen sekä vakavien onnettomuuksien aihepiirit. Menetelmien on muodostettava kokonaisuus, jolla viranomaisen voi riippumattomasti arvioida laitoimittajan ja luvanhaltijan esityksiä. Laitteistojen ja ohjelmistojen käytön osaamisen ylläpito ja kehittäminen vaatii myös jatkuvuutta.

Rakenteellisen turvallisuuden ja materiaalien tutkimuksen tavoitteena on Suomen ydinvoimalaitosten luotettavaa pitkäaikaista käyttöä tukevan tutkimustiedon lisääminen erityisesti leviämisseiden eheyteen liittyvissä asioissa sekä turvallisuustoimintojen luotavuuteen vaikuttavissa materiaalikysymyksissä. Tutkimus kohdistuu käytössä olevien laitteiden ja rakenteiden ikääntymisilmiöihin ja niiden etenemisen oikea-aikaiseen hallintaan. Tietoa hyödynnetään korvattavien laitososien uusinnan suunnittelussa ja valmis-

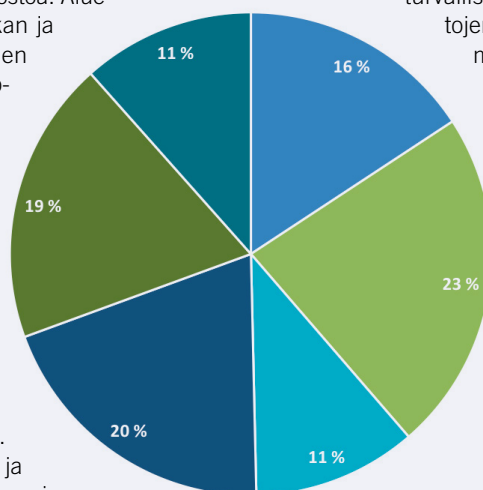


Kuva 2. SAFIR2018-ohjelman organisaatio koostuu johtoryhmästä ja sen alla toimivista tutkimusalueiden ohjausryhmistä (SG1-SG3) sekä tukiryhmistä (RG1-RG5). Tutkimusinfrastruktuurin ohjaus- ja tukiryhmä RG6 toimii suoraan johtoryhmän alla.

tuksessa. Tärkeitä ovat myös uusien ydinvoimalaitosten materiaali-, valmistus- ja rakennetekniset kysymykset, joiden hallinnalla varmistetaan asianmukainen toteutus ja tuleva käytönaikainen luotettavuus.

Tutkimusinfrastruktuurin alueella ovat kohteina syyskuussa 2016 käyttöön vihityn kansallisen Ydinturvallisuustalon tutkimusympäristön kehittäminen, Lappeenrannan teknillisen yliopiston (LUT) koelaitteistojen kehittäminen ja Ranskaan rakenteilla olevan Jules Horowitz -tutkimusreaktorin (JHR) kehitystyön seuraaminen. Ydinturvallisuustalon uusiin kuumakammioiloihin ja muihin ydinteknisten materiaalien tutkimukseen tarvittaviin tiloihin ja laitteistoihin liittyviä investointeja rahoitetaan vuodesta 2016 alkaen erillisrahoituksella, mutta investointeihin liittyvää kehitystyötä rahoitetaan SAFIR2018-ohjelman tutkimusrahoituksena. LUT:ssa sijaitseva kansallinen termohydraulisten

ilmiöiden koelaitteisto on tarpeen, jotta voidaan tehdä kokeita turvallisuusanalyysissä käytettyjen laskentaohjelmistojen kelpoistamiseksi. JHR tulee valmistuessaan muuttamaan reaktoritutkimuksen painopistettä Euroopassa, koska Halden-reaktori tulee käyttökänsä päähän ja myös esim. CEA:n OSIRIS-reaktorin toiminnot tulevat siirtymään pääosin JHR:ään. JHR tulee palvelemaan niin GEN II-, GEN III- kuin GEN IV -sukupolvienkin laitosten materiaali- ja polttoainetutkimuksia.



Kuva 3. Vuodelle 2016 suunnitellun työajan jakautuminen tukiryhmien projekteille.

Fennovoima & SAFIR

Fennovoima on ollut mukana suomalaisessa ydinturvallisuuden tutkimuksessa periaatepäätöksen saamisesta lähtien eli vuodesta 2010. Ylivoimaisesti suurin Fennovoiman T&K-panostus sekä rahallisesti että työajassa mitattuna on SAFIR2018 sekä sen edeltäjät. Fennovoima osallistuu rahoitukseen sekä VYR-maksujen osalta, että suorana lisärahoituksena hankkeisiin joiden arvioidaan tukevan erityisen hyvin Fennovoiman tarpeita.

Fennovoima on muiden voimayhtiöiden tapaan ollut edustettuna niin johtoryhmässä, ohjausryhmissä kuin tukiryhmissä. Näitä vaikuttamismahdollisuuksia käyttämällä olemme pystyneet varmistamaan, että Fennovoiman tarpeet on huomioitu itse tutkimusprojekteissa. Käytännön esimerkkinä tästä voidaan mainita se, että Hanhikivi on ollut laitospaikkana mukana hankkeissa, joissa maantieteellisellä paikalla on merkitystä.

Fennovoima arvioi tutkimustyön hyötyjä sisäisesti vuosittain. SAFIR-osallistuminen on osoittautunut positiiviseksi Fennovoiman asiantuntemuksen kehittymisen kannalta, lisäksi osallistuminen tukiryhmän työskentelyyn antaa mahdollisuuden seurata state-of-the-art -tutkimusta aitiopaikoilta. Luonnollisesti tutkimusaiheet jotka liittyvät uuden laitoksen teknologiaan on koettu erittäin hyödyllisinä. Tällaisia ovat mm. hankkeet joissa on tutkittu ohjelmoitavan automaation turvallisuutta, passiivisten järjestelmien mallintamista sekä modernien valvomoratkaisujen käytettävyyttä ja turvallisuutta.

Tutkimusohjelman SAFIR on haasteellisessa asemassa, koska rajallisilla resursseilla tulee rahoittaa hankkeita jotka ovat hyödyllisiä sekä voimayhtiöille että viranomaisille, joiden tarpeet poikkeavat toisinaan turvallisuustutkimuksen suhteen. Fennovoiman näkemyksen mukaan tutkimuslaitosten, viranomaisten ja voimayhtiöiden yhteistyöllä tutkimushankkeissa on saatu suhteellisen hyvät kompromissit aikaiseksi.

Hanna Virlander & Ilkka Männistö, Fennovoima

Uudet käytännöt

SAFIR-ohjelmien toimintatavat ovat hioutuneet vuosien varrella. Vähittäinen parantaminen helposti johtaa uusia toimenpiteitä lisättäessä hallinnollisen työn kasvamiseen, jos joistakin vanhoista aikanaan hyväksikin todetuista käytännöistä ei samalla luovuta. SAFIR2014:n kansainvälisessä loppuarvioinnissa tutkimuksen sisältöön liittyvien suositusten lisäksi olikin yhtenä suosituksena hallinnollisen työn keventäminen ja joustavuuden lisääminen [8].

SAFIR2018:n hallinnollinen rakenne poikkeaa merkittävästi edeltävän SAFIR2014:n rakenteesta. Tavoitteena on ollut hallinnollisen työn tehostaminen ja vähentäminen projekteissa sekä projekteja ohjaavissa ryhmissä. Projektien poikkiteollisuutta ja sisällöllistä ohjausta on myös haluttu vahvistaa sekä projektien kokoa kasvattaa.

Ohjelman toimintamalli koostuu johtoryhmästä, sen alla toimivasta kolmesta tutkimusalueen ohjausryhmästä ja infrastruktuurin kehittämisen ohjausryhmästä sekä tukiryhmistä (kuva 2). SAFIR2018:n johtoryhmä vastaa ohjelman kokonaisuudesta ja sen tuloksellisuudesta siten, että ohjelma täyttää laissa asetetut vaatimukset. Johtoryhmä päättää myös hankekokonaisuudesta, seuraa tutkimusohjelman toteutumista kokonaisuutena sekä päivittää tarvittaessa runkosuunnitelmaa hankkehakua varten. Johtoryhmä tekee esityksen työ- ja elinkeinoministeriölle (TEM) seuraavan vuoden hankekokonaisuudesta, joka tekee lain edellyttämän rahoitusesityksen VYRille saatuaan lausunnon STUKilta. Johtoryhmän puheenjohtaja on Säteilyturvakeskuksesta (STUK) ja sen sihteerinä toimii tutkimusohjelman johtaja. Johtoryhmässä on edustaja kustakin ydinenergia-alueella toimivasta voimayhtiöstä (Fennovoima, Fortum ja TVO), kustakin merkittävästä ydinvoima-alan tutkimusta tekevästä tai opetusta antavasta tutkimuslaitoksesta ja yliopistosta (Aalto, LUT, VTT), TEMistä sekä Teknologian ja innovaatioiden tutkimuskeskuksesta (Tekes). Myös SSM:n (Strålsäkerhetsmyndigheten) edustaja kutsuttiin johtoryhmään ohjelman alettua. Kukin projekti on liitetty sen sisällölliseen ohjaukseen keskittävään tukiryhmään, jonka aihepiiri voi liittyä yhteen tai useampaan tutkimusalueeseen.

Uudessa rakenteessa on ollut tavoitteena erottaa hankkeiden hallinnollinen seuranta ja tutkimustyön sisällöllinen ohjaus. Ohjausryhmissä on edustaja STUKista sekä voimayhtiöistä. Ohjausryhmät vastaavat syksyisin tapahtuvasta seuraavan vuoden hanke-ehtotusten arvioinnista ja hankkeiden tulosten sekä kustannusten hyväksymisestä. Tällöin johtoryhmä saa virallisia päätöksiään varten tutkimusta suorittavista organisaatioista riippumattoman päätösehdotuksen.

SAFIR-ohjelman hyödyt voimayhtiöille

Voimayhtiön näkökulmasta SAFIR-ohjelma tuo monia etuja. SAFIR-ohjelma auttaa meitä viemään yhteisiä tutkimusaiheita eteenpäin suu-remmalla volyyminä ja laajemmalla laajuudella. SAFIRin kautta myös keskustelu voimayhtiöiden, viranomaisen ja tutkimuslaitosten välillä tapahtuu puolueettomalla maaperällä ja monia asioita voidaan ratkaista hyvän yhteistyön kautta.

SAFIR-ohjelman kautta olemme saaneet ratkaistuksi monia kriittisiä kysymyksiä ja kokonaiskuva avoimista asioista on selkeytynyt. SAFIR katsoo niin historiaan, nykyisyyteen kuin tulevaisuuteenkin ja kussakin osassa on monia meitä kiinnostavia kysymyksiä ratkaistavana. Uusien ydinvoima-alan osaajien koulutus on myös tärkeää alan toimijoille.

Me Fortumissa tuemme SAFIR-ohjelmaa omalta osaltamme osallistumalla aktiivisesti useisiin työryhmiin ja tutkimusprojekteihin. Parhaita tuloksia syntyy usein tiivistä yhteistyöstä niin kansallisella kuin kansainväliselläkin tasolla. Tämä toiminta osoittaa hyvää suomalaista yhteistyökykyä monen tyyppisissä aiheissa. Toisinaan ollaan asioista samaa mieltä, toisinaan näkemykset ovat hyvinkin erilaisia eri toimijoilla. Joka tapauksessa tällaisen yhteistyön kautta kokonaisymmärrys ydinvoiman turvallisuudesta ja tulevaisuudesta lisääntyy kaikilla tahoilla.

Toivomme SAFIR-ohjelmalle menestystä myös tulevaisuudessa.

Kristiina Söderholm, Fortum

Tukiryhmissä ovat edustettuina STUKin ja voimayhtiöiden lisäksi myös tutkimusorganisaatiot. Tukiryhmät keskittyvät projektipäälliköiden avustamiseen tutkimustyössä ja mahdollisissa ongelmissa sekä ohjaavat projektien sisällöllistä toteuttamista. Vuonna 2016 eniten tutkimustyötä on suunniteltu vakavien onnettomuuksien ja riskitutkimuksen tukiryhmän aihepiiriin (kuva 3).

Kustannusseuranta on SAFIR2018:ssa jätetty pois tukiryhmäkokouksista, mutta projektipäälliköt lähettävät määrämuotoisen edistymisraportin ennen kokouksia kolme kertaa vuodessa. Edistymisraportissa pääpaino on saavutettujen tulosten kuvaamisessa suhteessa tavoitteisiin. Myös toteutuneen ja suunnitellun tutkimustyön lyhyt sisällöllinen kuvaus on osoittautunut tarpeelliseksi, koska se helpottaa tukiryhmän jäsenten valmistautumista kokoukseen. Kustannukset raportoidaan ohjausryhmille laskutusten yhteydessä kaksi kertaa vuodessa ja informatiivisesti vuosittaisen rahoituspäätöksen jälkeisen ennakkolaskun yhteydessä.

Uudessa rakenteessa ja toimintamallissa on vähemmän sinänsä

välttämättömiä hallinnollisia kokouksia ja myös projektien raportointijaksot ovat aiempaa pitemmät. Projektit ovat myös aiempaa suurempia, joten projektipäälliköitä on vähemmän, mikä toivottavasti on osaltaan kokonaisuutena vähentänyt hallinnollista työtä projekteissa. Ohjelman toimintatavat on kuvattu SAFIR2018:n toimintakäsikirjassa [9].

Tulokset julkisia

SAFIR2018-ohjelman tulokset ovat pääsääntöisesti julkisia. Projektien tulokset raportoidaan vuosittain ohjelman verkkosivuilta löytyvissä vuosiraporteissa. Tuloksia esitetään myös puoliväliseminaarissa keväällä 2017 ja loppuseminaarissa keväällä 2019. Projektien tuottamat julkaisut tai linkit niihin löytyvät tukiryhmittäin koottuina ohjelman sisäisiltä sivuilta, joihin SAFIR2018:ssa mukana olevilla organisaatioilla on tunnuksia. Kaikki kiinnostuneet ovat tervetulleita mukaan seminaareihin keskustelemaan SAFIR2018-ohjelmasta ja sen tuloksista.

Viitteet

- [1] SAFIR2018:n verkkosivut <http://safir2018.vtt.fi>
- [2] SAFIR2014 – The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 2011–2014. Final Report, J. Hämäläinen ja V. Suolanen (toim.), VTT Technology 213, VTT 2015. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2015/T213.pdf>
- [3] L. Heikinheimo, SAFIR2014 päätösseminaari – turvallisuustutkimuksen jatkumoa ja muutoksia, ATS, Vol. 44, No 1, 2015. http://www.ats-fns.fi/images/files/ydintekniikka/atstyt_2015_1.pdf
- [4] Kansallinen ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimus 2015–2018. Uuden tutkimusohjelman SAFIR2018 runkosuunnitelma hankehaikua varten, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia ja ilmastoto 34/2014. <http://safir2018.vtt.fi/framework.htm>
- [5] Uusi SAFIR-ohjelmakausi käynnistyi, ATS Ydintekniikka, Vol. 43, No 3, 2014. http://www.ats-fns.fi/images/files/ydintekniikka/atstyt_2014_3.pdf
- [6] SAFIR2018 Annual Plan 2016, J. Hämäläinen ja V. Suolanen (toim.), raportti VTT-R-02463–16, VTT 2016. http://safir2018.vtt.fi/docs/Annual_plan_2016_signed.pdf
- [7] SAFIR2018 Annual Report 2015, J. Hämäläinen ja V. Suolanen (toim.), raportti VTT-R-01745–16, VTT 2016. http://safir2018.vtt.fi/docs/SAFIR2018_Annual_report_2015.pdf
- [8] Evaluation of the Finnish Nuclear Safety Research Programme "SAFIR2014", Työ- ja elinkeinoministeriö, June 2014. http://safir2014.vtt.fi/docs/Evaluation_Finnish_Nuclear_Safety_Research_Programme_Safir2014.pdf
- [9] J. Hämäläinen, SAFIR2018 – The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 2015–2018. Operational Management Handbook, 2015. http://safir2018.vtt.fi/docs/SAFIR2018_Operational_management_handbook.pdf

Kirjoittaja



TKT Jari Hämäläinen

SAFIR2018-tutkimusohjelman johtaja
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
jari.hamalainen@vtt.fi



SAFIR2018

Puoliväliseminaari 23.–24.3.2017
Innopoly, Espoo

Esittelyssä Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio (HYRL)

Jukka Lehto
Helsingin yliopisto

Helsingin yliopiston Radiokemian laboratorio (HYRL) on ainoa radiokemian yleisyksikkö Suomen yliopistoissa. Se on lisäksi yksi maailman suurimpia yliopistollisia radiokemian yksiköitä ja siinä työskentelee yli 40 työntekijää, mukaan lukien lähes 20 tohtorikoulutettavaa.

Helsinki University Laboratory of Radiochemistry (HYRL) is the only radiochemistry unit in Finnish universities. It is also globally one of the largest radiochemistry units with its 40 employees including nearly 20 doctoral students.

Radiokemian laboratorion perusti vuonna 1962 Jorma K. Miettinen, nyt yksi Suomen kahdestatoista tieteen akateemikoista. Radiokemian laboratoriossa on tällä hetkellä neljä keskeistä tutkimusaluetta: käytetyn ydinpolttoaineesta peräisin olevien radionuklidien käyttäytymisen maa- ja kallioperässä, ydinjäteliuosten puhdistamismenetelmien kehittäminen, radiolääkeainekemia ja ympäristön radioaktiivisuuden tutkimus.

Radioaktiivisuus ympäristössä ja kulkeutuminen maaperässä

Ympäristön radioaktiivisuustutkimus alkoi jo ennen Radiokemian laboratorion perustamista, kun Jorma K. Miettinen aloitti tutkimukset ydinasekoelasteesta peräisin olevien radionuklidien käyttäytymisestä ympäristössä ja ravintoketjuissa. Tämä alue oli Radiokemian laboratorion suurin tutkimusalue aina 1980-luvun alkuun saakka. Alue tuli jälleen ajankohtaiseksi Tšernobylin onnettomuuden myötä vuonna 1986. Radiokemian laboratorion tärkein vastuu onnettomuuden aiheuttaman laskeuman vaikutusten tutkimuksessa on ollut transuraanialkuaineiden, Pu, Np, Am ja Cm, käyttäytymisen selvittäminen, mm. pääkaupunkiseudun vesilähteessä Päijänteen Asikkalanselällä.

Ydinasekoekiden ja Tšernobylin onnettomuuden laskeumien tutkimus jatkuu näinäkin päivinä, mutta painopiste ympäristötutkimuksessa on enenevässä määrin siirtynyt luonnon radionuklidien, U, Th, Ra, Po ja Pb, käyttäytymisen selvittämiseen, viimeisimpänä kaivosjätteissä. Nyt, kun Säteilyturvakeskuksen ympäristötutkimus valtion tutkimuslaitosuudistuksen myötä on lähes loppunut, tämän alueen vahvistaminen Radiokemian laboratoriossa on ajankohtaista. 1980-luvulta alkaen Radiokemian laboratorion suurin tutkimusalue on ollut käytetystä ydinpolttoaineesta peräisin olevien radionuklidien käyttäytymisen tutkimus maa- ja kallioperässä, jolla alalla Radiokemian laboratorion on keskeinen kansallinen rooli. Laboratoriossa tutkitaan käytetystä polttoaineesta liukenevien pitkäikäisten radionukli-



Kuva 1. Radiokemian laitoksen syklotroni lyhytikäisten radionuklidien tuottamiseen.

dien kokemia fysikaalisia ja kemiallisia prosesseja, kun ne kulkevat kallioperän raoissa ja huokosissa, joko virtaavan veden mukana tai diffuusion avulla. Parhaillaan Radiokemian laboratorion tukijat ovat mm. mukana radionuklidien kallioperädiffuusion in-situ -hankkeessa, jota tutkitaan Olkiluodon Onkalossa noin 400 metrin syvyydellä kallioon poratussa reissä. Viimeisen kymmenen vuoden aikana mukaan on tullut myös pintaympäristön tutkimus, jossa on selvitetty kulkeutumista mineraalimaassa, suossa ja sedimenteissä. Tässä yhteydessä on alettu myös tutkia mikrobien vaikutusta radionuklidien käyttäytymiseen.



Kuva 2. Maisteriopiskelija Antti Hatakka Kuolan niemimaalla järvisedimenttinäytteen otossa 2005.

Sovelluksina ydinjäteliuosten puhdistaminen ja radiolääkeainekemia

Toinen ydinvoimaan liittyvä tutkimusalue on selektiivisten epäorgaanisten ioninvaihtimien kehittäminen ydinjäteliuosten puhdistamiseen, joka alkoi jo 1970-luvun lopulla. Laboratoriossa on kolmenkymmenenviiden vuoden aikana kehitetty runsas joukko vaihtimia ydinjätteissä tyypillisesti esiintyvien radionuklidien erottamiseen. Näistä vaihtimista Fortum tuottaa kolmea NURES-tuotemerkin alla. Niitä on käytetty yli kuudellakymmenellä ydinlaitoksella eri puolilla maailmaa. Ensimmäinen teollinen sovellutus oli Loviisan ydinvoimalaitoksella, jossa alettiin vuonna 1991 käsittelemään laitoksen jäteliuoksia cesium-selektiiviselle CsTreat-vaihtimella. Viimeisin ja suurin sovellutus alkoi vuonna 2012, kun Fukushima ydinvoimalaitokselle rakennettiin suuri laitteisto puhdistamaan vaurioituneiden reaktoreiden jäädyttämisessä syntyvien jäteliuosten puhdistamiseen. Siinä Fortumin NURES-tuotteista CsTreatin lisäksi käytetään SrTreat-vaihdinta, joka erottaa liuoksesta radioaktiivisen strontiumin, käytännöllisesti katsoen kokonaan. Radiokemian laboratorion ioninvaihtotutkimusryhmällä on nyt kehitteillä kuitumaisia vaihtimia, lantanidien erottamiseen aktinideista, harvinaisten maa- metallien erottamiseen kierrätys- ja jätemateriaaleista sekä anionisten radionuklidien, kuten teknetiumin erottamiseen. Haasteita siis riittää.

Radiokemian laboratorion neljäs tutkimusalue on radiolääkeainekemia, jossa toimii lähes kymmenen tutkijaa. Laboratoriossa olevalla syklotronilla tuotetaan lyhytikäisiä radionuklideja, joilla leimataan orgaanisia molekyyliä, joita voidaan käyttää kliinisessä diagnostiikassa, lääketieteellisessä tutkimuksessa ja lääkeainekehittelyssä. Laboratorion tutkimusryhmä keskittyy näistä viimeiseen, lääkeainekehittelyyn, jossa

on mm. tutkittu nanopartikkeleiden käyttöä lääkeainekuljettimina. Ala on kaiken kaikkiaan kasvava, sekä Suomessa että maailmalla. Tästä syystä alalle on päätetty perustaa professuuri, johon valitaan tutkija syksyn 2016 aikana.

Radiokemian laboratorion paitsi keskeinen kansallinen tutkimusvastuu, myös vastuu uusien radiokemistien kouluttamisessa, sekä maisteri- että tohtoritasolle. Radiokemian laboratorio tarjoaakin kansainvälisesti erittäin harvinaislaatuista kattavaa maisterikoulutuksen. Vuonna 2015 radiokemiasta valmistui kahdeksan maisteria ja kaksi tohtoria.

Kirjoittaja:



FT Jukka Lehto
Radiokemian professori
Helsingin Yliopisto
jukka.lehto@helsinki.fi

NURES® (Nuclide Removal System) – Menestystarina Loviisasta Fukushimaan

Esko Tusa
Fortum Power and Heat Oy

Fortum on onnistunut kehittämään ainutlaatuisen menetelmän radioaktiivisten nesteiden puhdistamiseen. Tämän saavuttaminen ei ollut itsestään selvää noin 35 vuotta sitten, kun menetelmän idea syntyi. Nyt 25 käyttövuoden jälkeen se on edelleen alallaan paras maailmassa.

Fortum has succeeded in developing of a unique method for purifying radioactive liquids. Such an accomplishment was not obvious 35 years ago when the idea behind the method was originated. Now, after 25 years of operating experience, NURES is still the best of the field.

Loviisan ydinvoimalaitoksen nestemäisten jätteiden käsittelyn piti alkuperäisen suunnitelman mukaan perustua radioaktiivisten nesteiden betonointiin. Kysymykseni oli, miksi radioaktiivinen vesi betonoidaan sen sijaan, että vedestä poistettaisiin radioaktiivisuus, jolloin vesi voitaisiin vapauttaa mereen?

Selektiivistä ioninvaihtoa oli maailmalla tutkittu, esimerkiksi Harrisburgin onnettomuuden yhteydessä, mutta kaikki menetelmät olivat sopimattomia korkeasuolaisen haihdutusjätteen käsittelyyn.

Koska konseptiin liittyi iso taloudellinen säästöpotentiaali samalla kun turvallisuutta parannetaan päästöjä pienentämällä ja sitomalla aktiivisuus paremmin loppusijoituksessa, tutkimusohjelma aloitettiin ja jo muutaman vuoden sisällä menetelmä näytti todelliset mahdollisuutensa.

Yksi vaatimus oli, että menetelmä täytyy olla hyvin kompakti. Voimalaitoksen olemassa olevat tilat eivät mahdollistaneet mitään menetelmiä, jotka perustuivat saostukseen tai koko nestetilavuuden tasapainottamiseen ioninvaihtimella. Niitäkin tutkittiin, mutta koska menetelmät olisivat vaatineet massojen hankalaa erottamista isoista nestemääristä, ne eivät soveltuneet voimalaitoksen uudeksi järjestelmäksi.

Vaatuksena oli, että NURES-järjestelmän täytyy toimia suodattavan hiekkapedin tapaan: muista epäpuhtauksista puhdistettu radioaktiivinen vesi johdetaan erittäin selektiivisiin ioninvaihtimiin, eli CsTreat-, CoTreat- ja SrTreat-massapeteihin. Kulkiessaan niiden läpi vesi puhdistuu säteilyä aiheuttavista aineista, ja radioaktiivisuus siirtyy puhdistaviin massoihin.

Ainutlaatuista tutkimusta Suomessa

NURES-konseptin kehittämiseksi aloitettiin tutkimusyhteistyö Helsingin yliopiston Radiokemian laboratorion (HYRL) kanssa. Yli 30 vuotta kestäneen yhteistyön alkuvaiheessa erilaisten umpikujaan johtaneiden kokeiden jälkeen vihdoin löydettiin polku, joka näytti mahdollistavan halutun konseptin toteutuksen.

HYRL:ssä jo aikaisemmin aloitetun ioninvaihtimiin liittyvän tutkimuksen perusteella osattiin lähteä etsimään ratkaisua epäorgaanisista vaihtimista. NURES-konseptin toteutus vaati erittäin korkeaa selektiivisyyttä. Vasta tämän toteuduttua saatiin mahdollisuus käyttää kehitettyjä

vaihtimia raemaisina hiekkapedin tyyppisessä ratkaisussa. Näin löytyi voimalaitosympäristöön soveltuva ratkaisu. Nyt NURES-tuotteet CsTreat, SrTreat ja CoTreat ovat olleet käytössä ympäri maailmaa jo kohta 25 vuoden ajan.

Selektiivisillä ioninvaihtimilla merkittäviin kustannussäästöihin

NURES-tuotteet, CsTreat®, SrTreat® ja CoTreat®, ovat epäorgaanisia, erittäin selektiivisiä ioninvaihtimia, jotka poistavat tehokkaasti cesiumia, strontiumia ja korroosiotuotteita, erityisesti kobolttia, erilaisista radioaktiivisista nesteistä. Ne toisin sanoen nappaavat hanakasti itseensä nesteessä olevia radioaktiivisia aineita ja sitovat ne itseensä erittäin lujasti. Samalla ne luovuttavat – ”vaihtavat” – nesteeseen tavallisia vaarattomia suola- ja vetyioneja.

Koska CsTreat, SrTreat ja CoTreat ovat äärimmäisen selektiivisiä, ne ovat myös erittäin kustannustehokkaita. Yhdellä kilolla ioninvaihdinmassaa pystytään puhdistamaan kymmeniä tai jopa satoja kuutioita radioaktiivista vettä, joten loppusijoitettavaksi jää siis tällöin vain yksi kilo säteilevää materiaalia.

Esimerkkinä voisi ajatella, että meillä on 25 metriä pitkän, 10 metriä leveän ja keskisyvydeltään 2-metrinen uima-altaallisen verran eli 500 kuutiometriä radioaktiivista vettä, niin NURES-käsittelyn jälkeen meillä on parhaimmillaan 500 kuutiometriä puhdasta vettä ja korkeintaan muutaman maitopurkillisen verran radioaktiivista ainesta.

Kun verrataan tätä radioaktiivisen veden betonointiin – yhdestä kuutiometrillä radioaktiivista vettä syntyy 2,5–3 kuutiota säteilevää betonia loppusijoitettavaksi – voidaan helposti päätellä, että kysymys on ainutlaatuisen kustannustehokkaasta ratkaisusta. Säästöt ovat miljoonaluokkaa.



Kuva 1. Fukushimassa radioaktiivisista jätevesistä puhdistetaan cesiumia CsTreat-ioninvaihtimilla ALPS-järjestelmän absorptiotorneissa.



Kuva 2. Ioninvaihtimet sitovat itseensä radioaktiivisia aineita luovuttaen nesteeseen tavallisia suola- ja vetyioneja; ALPS järjestelmällä puhdistetaan suolanpoistolaitteistolta tuleva konsentraatti.

Nykyisiinkin, jo pitkään kaupallisella asteella olleisiin ioninvaihtimiin, liittyy paljon kehitystyötä. Tämän lisäksi kehitteillä on jatkuvasti uusia ioninvaihtimia, joilla muitakin aineita pystyttäisiin erottamaan tehokkaammin kuin nykyisillä markkinoilta löytyvillä ioninvaihtimilla.

Yksi tutkimuksen alue on myös ioninvaihdon mallintaminen. HYRL on luonut malleja siitä, miten ioninvaihtimet toimivat erilaisissa vesissä – radioaktiivisissa nesteissä on usein paljon muutakin kuin niitä aineita, joihin selektiiviset ioninvaihtimet reagoivat. NURES-tuotteiden hyödyntäminen vaatii siksi aina asiakaskohtaista räätälöintiä. Mallintaminen on perustutkimusta, josta myös asiakkaat hyötyvät suoraan.

Koska ioninvaihdon tutkimus on HYRL:ssä aivan maailman huipulla, HYRL hyötyy siitä myös tieteellisessä mielessä. Teollisuuden kytköksestä huolimatta ioninvaihtimiin liittyvästä tutkimustyöstä on ollut mahdollista julkaista tieteellisiä ja teknisiä artikkeleita ja osallistua alan konferensseihin. Tieteelliset julkaisut luovat lisäksi luotettavan pohjan ioninvaihtimien kaupalliselle soveltamiselle.

Runsaasti teollisia sovellutuksia

NURES -konseptin käyttö ydinvoimalaitoksen tiloissa edellytti ioninvaihtimilta kahta ominaisuutta; voimakasta selektiivisyyttä ja raemaista olomuotoa. Nämä yhdessä mahdollistivat käytön suodattavana petinä. Ensimmäisenä kehitettiin cesium-selektiivisen ioninvaihtimen ”resepti”, sitten oli vuorossa strontium, joka on yleensä ongelma vain polttoaineen jälleenkäsittelyssä tai ydinonnettomuustilanteissa. Tämän jälkeen siirryttiin korroosiotuotteisiin, jolloin syntyi vielä kolmas selektiivinen ioninvaihdin, erityisesti kobolttiin iskevä CoTreat. Näiden jälkeen tutkimusta on jatkettu uusiin aineisiin, ja jo nyt on valmiina seuraava ioninvaihdin, SbTreat antimonin erottamiseen.

1980-luvun puolivälissä menetelmä saatiin toimimaan laboratorio-olosuhteissa. Tämän jälkeen CsTreat otettiin ensimmäisenä teolliseen käyttöön Lovisan voimalaitoksella vuonna 1991. SrTreat sai ulkomailta ensimmäisen teollisen sovellutuksen vuonna 1993 ja CoTreat vuonna 1996.

Tähän mennessä eri puolelle maailmaa on toimitettu noin 50-60 asiakkaiden tarpeisiin räätälöityä NURES-sovellusta. Asiakkaina ovat olleet

lähies kaiken tyyppiset ydinlaitokset. Menetelmä on sovellettavissa lähes kaikkiin radioaktiivisiin nesteisiin. Mitä enemmän nesteessä on liuenneita suoloja, sitä todennäköisemmin sovellus sopii NURES-tuotteille.

Tuotteiden sovellutuksina on testattu ja käsitelty esimerkiksi allasvesiä, lattiavesiä, haihdutusjätteitä, jälleenkäsittelyssä syntyviä nesteitä, tutkimuslaitosten jätevesiä, isotooppituotannossa syntyviä vesiä, radioaktiivisten komponenttien puhdistuksessa ja liuotuksessa syntyviä vesiä, ja erikoisuutena myös nopean reaktorin natriumjähdytteenä olevan natriumin puhdistus.

Menetelmän tehokkuutta voidaan havainnollistaa valikoiduilla esimerkeillä:

- Loviisan voimalaitoksella noin 1 500 m³ haihdutusjätteitä on puhdistettu 232 litralla CsTreat:a.
- Viron Paldiskissa 700 m³ allasvesiä puhdistettiin 12 litralla CsTreat:a.
- Callawayn voimalaitoksella USAn Missourissa noin 3000 m³ puhdistettiin 250 litralla CsTreat:a.
- Englannissa Sellafieldin jälleenkäsittelylaitoksella puhdistettiin THORP-laitoksella käytetyn polttoaineen vastaanottoaltaan vesi kerran pölymäisellä CsTreat:illa ja kerran pölymäisellä CoTreat:illa.
- Dounreayn nopeiden reaktoreiden käytöstäpoiston yhteydessä 1500 tonnia natrium/kalium-jähdytettä puhdistettiin muutamalla sadalla kilolla CsTreat:a.
- USAssa Savannah River:n laitoksella puhdistettiin noin 20 000 m³ vettä vanhasta polttoaine-elementtien purkualtaasta. Allas kuuluu entiseen sotilaalliseen asemateriaalin tuotantoreaktoriin.
- JAERIn ydintutkimuskeskuksessa ladattiin jälleenkäsittelyssä syntyneistä nesteistä CsTreat:iin noin 8,5 TBq/kg ja SrTreat:iin noin 6,3 TBq/kg.
- parhaimmat mitatut puhdistuskertoimet ovat luokkaa miljoonia, eli aktiivisuustasoja pystyttiin laskemaan yli kuusi kertalukua.

Vaativin projekti Fukushimassa

Fukushima Dai-ichin voimalaitoksella alkoi kerääntyä voimakkaasti radioaktiivisia vesiä heti tsunamin ja reaktorien vaurioitumisen jälkeen.

Koska reaktorien omat jäähdytyspiirit vaurioituivat, aluksi jouduttiin käyttämään ulkoisena jäähdytteenä jopa merivettä. Toisaalta rakennusten perustusten vaurioituminen aiheutti sen, että pohjavettä alkoi virrata keskimäärin noin 400 m³/vuorokausi rakennuksiin ja se sekoitui siellä olevaan erittäin radioaktiiviseen veteen.

Syntyvien vesien käsittely aiheutti heti kaksi akuuttia ongelmaa. Kun uusi jäähdytyspiiri asennettiin, siihen oli saatava järjestelmä, jolla laskettiin aktiivisuustasoa. Toisaalta, koska uutta vettä tuli pohjaveden muodossa, jäähdytyspiiriin oli asennettava järjestelmä, jolla voimakkaasti aktiivista ja suolaista vettä voitiin ottaa ulos tankkeihin.

Jäähdytyspiiriin asennettiin aluksi vain järjestelmä, jolla osa cesiumista saatiin poistettua. Tämän vaiheen toteuttivat kaksi USA:laista yhtiötä, ja tässä vaiheessa käyttöön riitti NURES-tuotteita heikommät tuotteet.

Jäähdytyspiiristä ulos tankkeihin kertyvä vesi aiheutti ongelman, jolle oli nopeasti löydettävä ratkaisu. Jokainen uusi 1 000 m³:n tankki täyttyi 2,5 vuorokaudessa. Vesi oli lisäksi erittäin aktiivista; sisälsi hienoisia strontiumin. Tämän veden käsittelyyn useat yhtiöt tarjosivat ratkaisuja. Tässä vaiheessa Fortum jo osasi odottaa positiivisia tuloksia. Joulukuussa 2011 tuli sitten tieto, että NURES-tuotteet, CsTreat ja SrTreat, olivat suoriutuneet erittäin hyvin radioaktiivisten nesteiden puhdistustesteissä.

Puhdistusurakka on valtava, ja tehtyjen testien perusteella Fortumin NURES-tuotteet, CsTreat ja SrTreat, valittiin vuoden 2012 alussa avainteknologiaksi kontaminoituneen veden käsittelemiseksi. Vesien käsittelemiseksi EnergySolutions USA:sta suunniteltiin ALPS-järjestelmän, jonka Toshiba rakensi Tepcon käytettäväksi. Tähän ALPS-järjestelmään Fortum toimittaa NURES-tuotteita.

ALPS:n tavoite on vaativa. Kaksi rinnakkaista systeemiä sisältää kumpikin kolme käsittelylinjaa. Jokainen linja kykenee käsittelemään maksimissaan 250 m³ vuorokaudessa, eli yhteensä kapasiteettia on 1500 m³ vuorokaudessa. Tavoiteltu todellinen käyttöaste oli kuudelle linjalle yhteensä 1 000 m³ vuorokaudessa. Tällä maksiminopeudella järjestelmän on kyettävä erottamaan yhteensä 62 radionuklidia alle mittausrajojen.

NURES-tuotteiden toimitus Fukushimaan alkoi heinäkuussa 2012, ja toimitus on kokoluokaltaan kaikkien aikojen suurin NURES-tuotteiden toimitus. Kysymys on tuhansista kiloista, kun yleensä toimituksen ovat kiloja tai kymmeniä kiloja.

ALPS-järjestelmän käyttöönotto alkoi syksyllä 2012 ja todellinen aktiivinen käyttö alkoi 31.3.2013. Järjestelmän tehokkuus ei perustu yksin NURES-tuotteisiin, koska erotettavina on yhteensä 62 radionuklidia mutta kaikista testatuista kaupallisesti saatavilla olevista aineista CsTreat ja SrTreat onnistuivat noiden kahden kohdenuklidin erotuksessa parhaiten.

Koska vaatimukset järjestelmän toiminnalle olivat äärimmäisen kovat, tavoitearvoihin ALPS-järjestelmä ei käsittelynopeuden osalta ole päässyt. Kun tavoitearvo kapasiteetille oli 7 000 m³ viikossa, todelliset toteutuneet arvot ovat olleet 850 m³/viikko vuonna 2013, noin 3 860 m³/viikko vuonna 2014, ja noin 4 930 m³/viikko vuonna 2015.

Radioaktiivisuuden erottamisen osalta ALPS on päässyt tavoitteisiinsa. NURES-tuotteiden osalta Cs- ja Sr-pitoisuudet ovat koko ajan olleet puhdistuksen jälkeen asetettujen mittausrajojen alapuolella. Cesiumin osalta dekontaminointikerron (sisään menevän ja ulos tulevan konsentraation suhde) oli alussa, jolloin aktiivisuustasot olivat korkeimmillaan, yli 8 miljoonaa. Strontiumin osalta vastaavasti saostus ja SrTreat yhdessä saivat aikaan dekontaminointikertoimeksi yli 165 miljoonaa. Nämä ovat suurimmat koskaan raportoidut kertoimet ioninvaihtimille.



Kuva 3. ALPS-järjestelmällä ja NURES-tuotteilla on heinäkuun 2016 loppuun mennessä käsitelty Fukushimassa noin 560 000 m³ vettä. Yhteen tällaiseen tankkiin mahtuu 1 000 m³ vettä

Koska ALPS:lla saavutettu kapasiteetti on ollut suunniteltua pienempi, laitosalueelle on rakennettu rinnakkaisia järjestelmiä, joilla laitosalueella olevista tankeista on kyettävä erottamaan strontiumia. Kaikki tämä vesi tulee jatkossa käsiteltäväksi ALPS-järjestelmälle. Kesäkuun lopussa 2016 tällaista vettä oli tankeissa vielä lähes 180 000 m³. Nykyisellä kapasiteetilla yksin tämän veden käsittelyyn kuluu 30-40 viikkoa. Lisäksi koko ajan tulee pohjavedestä lisää käsiteltävää, joten todellisuudessa tuon veden käsittely kestää vielä yli vuoden. Vasta sen jälkeen päästään stabiiliin tilaan, jossa käsitellään vain pohjavedestä kertyvän veden määrää.

Vesien käsittely tulee jatkumaan Fukushimassa vielä pitkään. Vasta kun kaikki polttoaine ja sulanut materiaali on poistettu ja reaktorit on puhdistettu, veden käsittelyn tarve pienenee. Tämä ottanee vielä ainakin 15-20 vuotta. Vielä sen jälkeisessä käytöstäpoiston työssäkin veden käsittelylle lienee tarvetta.

Kirjoittaja:



Esko Tusa

Fortum Power and Heat Oy
Ydinjäteteknologian johtava asiantuntija
NURES-tuotepäällikkö
esko.tusa@fortum.com

Serpent Monte Carlo -reaktorifysiikkakoodin kehitys

Jaakko Leppänen
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Teknologian tutkimuskeskus VTT:ssä on vuodesta 2004 alkaen kehitetty reaktorifysiikan laskennalliseen mallinnukseen käytettävää Serpent Monte Carlo -transportlaskentaohjelmaa. Monivaiheisen kehityshistorian taustalla oli ajatus neutronien satunnaiskulun yksityiskohtaiseen simulointiin perustuvan Monte Carlo -menetelmän liittämistä osaksi ydinreaktoreiden suunnittelu- ja turvallisuusanalyysiin käytettävää perinteistä laskentaketjua. Kehitys alkoi puhtaasti harrastuspohjalta, ja kuluneen 12 vuoden aikana Serpentistä on muodostunut monipuolinen työkalu reaktorifysiikan laskentatehtäviin. Serpentillä on nykyisin yli 550 käyttäjää 160 yliopistossa ja tutkimusorganisaatioissa 37 maassa.

Serpent Monte Carlo transport calculation code has been developed for reactor physics applications at VTT Technical Research Centre of Finland since 2004. Stochastic Monte Carlo method is based on the detailed simulation of neutron random walk, and the original incentive for the work was to include this method as an integral part of the traditional reactor physics calculation chain. During the past 12 years Serpent has been developed into a versatile calculation tool for various tasks in reactor analysis. The code has more than 550 users in 160 universities and research organizations in 37 countries around the world.

Transport-ongelma

Ydintekniikan kehityksen alkuvuosina reaktoreiden suunnittelu nojasi vahvasti kokeelliseen tutkimukseen, sillä neutronivuorovaikutusten todennäköisyyksiä kuvaavia vaikutusaloja ja muita fysikaalisia luonnonvakioita ei tunnettu tarkasti. Reaktorin toiminnan määräävät parametrit, kuten kasvutekijä, säätösauvojen reaktiivisuusarvot sekä ketjureaktion aikavakiot määritettiin kokeellisten mittausten perusteella. Kokeita tehtiin erilaisilla kriittisillä konfiguraatioilla, jotka kertoivat miten toimintaa kuvaavat parametrit riippuivat reaktorissa käytetyistä materiaaleista. Reaktoreiden laskennallisessa mallinnuksessa käytetyt menetelmät nojasivat aluksi yksinkertaistettuihin malleihin, jotka sinänsä soveltuivat huonosti kuvaamaan neutronien kulkeutumista reaktorin polttoaineesta, mutta jotka yhdistettynä kokeellisista mittauksista saatuihin korjaustekijöihin antoivat reaktorifysiikoille suhteellisen tarkkoja tuloksia.

Ydinreaktorin toiminnan mallintamisen vaikeus palautuu neutronien kulkeutumista kuvaavaan transport-ongelmaan, erityisesti siihen että neutronivuorovaikutusten todennäköisyydet riippuvat voimakkaasti hiukkasten energiasta. Neutroni syntyy korkealle energialle reaktorin polttoaineeseen, mistä se kulkeutuu nopeasti polttoainesau-

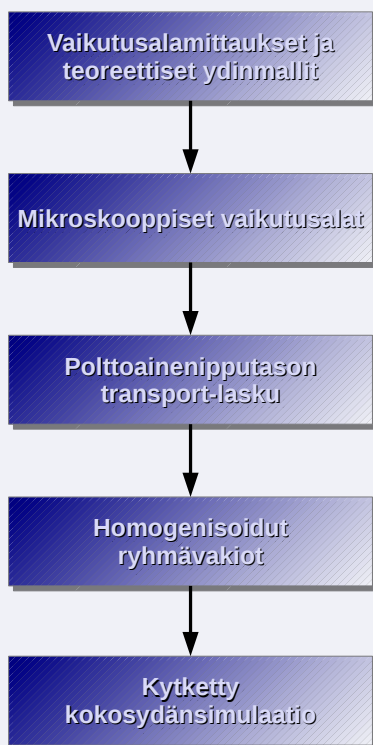
vojen välissä virtaavaan jäähdytteeseen. Törmättyään keskimäärin 20 kertaa veden vetyatomien ytimiin, neutronin nopeus on pudonnut alle tuhannesosaan alkuperäisestä. Uraanin fissiiliin 235-isotoopin vaikutusala on samalla kasvanut yli 60-kertaiseksi. Jos vaikutusalan tulkitaan kuvaavan ytimen efektiivistä kokoa, neutronien hidastuminen termiselle energia-alueelle saa harvalukuiset U-235 -ytimet erottumaan kokonsa puolesta muiden joukosta. Seurauksena on fissiotodennäköisyyden kasvu, mikä mahdollistaa ketjureaktion ylläpitämisen reaktorin matalasti väkevöidyssä polttoaineessa. Hiukkasten vaellus reaktorin sydämessä on kuitenkin täysin satunnainen prosessi. Neutronit kulkeutuvat syntymänsä jälkeen vaivatta kymmeniä senttimetrejä, läpäisten helposti jäähdytteen ja polttoainesauvat. Hidastuttuaan termiselle alueelle neutronien vapaamatka lyhenee, ja ne alkavat nähdä myös polttoaineen hienorakenteen pienintä yksityiskohtaa myöten.

Se, että neutronin ympärillään näkemä maailma muuttuu sen elinkaaren varrella, on tavallaan koko transport-ongelman ydin. Laskentamenetelmien on pystyttävä huomioimaan reaktorin geometria kaikessa monimutkaisuudessaan, ottaen huomioon vuorovaikutustodennäköisyyksiä kuvaavien vaikutusalojen voimakas riippuvuus neutronin energiasta. Vaikka fissio on reaktorin toiminnan kannalta

ilmeisin reaktiomuoto, yli 90 % kaikista ydinreaktioista on todellisuudessa elastisia sirontoja, joissa neutroni kimmahdaa uuteen suuntaan menettäen törmäyksessä osan nopeudestaan. Sironnan fysiikan kuvaaminen tarkasti on yksi transport-ongelman suurimmista haasteista. Ydinreaktorien laskennallisessa mallinnuksessa jouduttiinkin jo varhaisessa vaiheessa turvautumaan numeerisiin menetelmiin, ja ydintekniikka oli aikanaan yksi tietokoneiden kehitykseen vaikuttaneista tekijöistä.

Reaktorifysiikan laskentamenetelmät

Laskentamenetelmät voidaan jakaa kahteen kategoriaan. Deterministisissä transport-menetelmissä reaktorin neutronipopulaation kokonaiskäyttäytymistä kuvataan tiheyden neutronivuon avulla. Transport-



Kuva 1. Reaktorianalyysin perinteinen laskentaketju etenee neutronien ja yksittäisten atomiytimien välisten törmäysten fysiikasta vaihe kerrallaan kohti reaktorin kokonaiskäyttäytymistä kuvaavaa sydänsimulaatiota. Jokaisessa vaiheessa transport-ongelman fysiikan kuvauksessa siirrytään yksinkertaisempaan suuntaan, kasvattaen samalla tarkasteltavan systeemin mittakaavaa. Systemaattinen homogenisointi sijoittuu ketjun keskivaiheille, missä transport-ongelman ratkaisu yksittäisen polttoainenipun muodostamassa systeemissä tuottaa tarvittavat rakennuspalikat kytketylle kokosydänsimulaatiolle.

ongelma kirjoitetaan hiukkastasapainoa kuvaavan differentiaaliyhtälön muotoon. Yhtälö ei ratkea sellaisenaan suljetussa muodossa, mutta ratkaisuun päästään tekemällä riittävä määrä ongelmaa yksinkertaisia approksimaatioita. Vaihtoehto deterministisille menetelmille on Monte Carlo -menetelmä, jossa transport-ongelmaa lähestytään yksittäisen neutronin näkökulmasta. Menetelmässä simuloidaan neutronien satunnaiskulkua kuljettamalla hiukkasta geometrian läpi vuorovaikutuksesta toiseen. Jokaisessa vuorovaikutuksessa neutronin ja atomiytimen välistä törmäystä kuvaavat fysiikan lait esitetään erilaisten todennäköisyysjakaumien muodossa, joista lopputulos arvotaan satunnaisesti. Toistamalla simulaatio suurelle määrälle neutroneita tuloksista voidaan kerätä tilastollisia estimaattoreita reaktionopeuksille ja muille reaktorin toimintaa kuvaaville suureille. Tältä osin simulaatio muistuttaa kokeellista mittausta.

Monte Carlo -menetelmän etu deterministisiin laskentamenetelmiin verrattuna on se, että monimutkainen transport-ongelma saadaan pilkottua pieniin yksinkertaisiin osatehtäviin. Reaktorin geometria voidaan kuvata mielivaltaisen tarkasti, ja vuorovaikutusten fysiikka niin yksityiskohtaisesti kuin se parhaan olemassa olevan tiedon perusteella on mahdollista. Siinä missä deterministiset transport-menetelmät perustuvat hienostuneisiin approksimaatioihin, Monte Carlo menetelmä edustaa enemmän raakaa numeronmurskausta. Tämä on samalla yksi menetelmän merkittävimmistä rajoituksista, sillä simulaatio vaatii väistämättä paljon prosessoriaikaa. Monte Carlo -menetelmää on vasta viimeisten vuosikymmenien aikana päästy soveltamaan reaktorimallinnukseen suuressa mittakaavassa. Laskentaohjelmien kehitys on pitkä prosessi joka tuo mukanaan historiallista painolastia. Vanhoissa laskentakoodeissa käytetyt menetelmät ovat toisaalta jääneet tietokoneiden laskentakapasiteetin kehityksestä jälkeen. Toisaalta rajallinen prosessoriaika on edelleen yksi merkittävimmistä menetelmän käyttöä rajoittavista tekijöistä.

Reaktorin toiminnan mallinnus

Ydinreaktoreiden laskennallisten suunnittelu- ja turvallisuusanalyysien tekemistä vaikeuttaa se, että transport-ongelman ratkaiseminen on vain yksi osatehtävistä. Kun reaktori tuottaa fissiotehoa, polttoaineen ja jäähdytteen lämpeneminen vaikuttavat olennaisesti neutronien kulkeutumiseen. Samat fysikaaliset takaisinkytkennät, jotka tekevät ketjureaktiota stabiilin prosessin vastustamalla fissiotehon muutosta, vaikeuttavat huomattavasti reaktorin mallintamista. Vastaava ongelma liittyy polttoaineen palamiseen. Fissiiliin uraanin määrä pienenee reaktorin käyttöjakson kuluessa, ja polttoaineeseen syntyy samalla plutoniumia ja sivuaktinideja, sekä neutroneita absorboivia fissiotuotteita. Tuoreen ja pitkään säteilytetyn polttoaineen reaktorifysikaaliset ominaisuudet poikkeavat merkittävästi toisistaan. Matemaattisesti takaisinkytkennät ja polttoaineen palaminen tarkoittavat sitä, että lineaarinen transport-ongelma muuttuu epälineaariseksi ongelmaksi, jossa neutroniikka, lämmönsiirto, jäähdytteen virtaus ja polttoaineen isotooppikoostumuksen muutokset kytkeytyvät toisiinsa. Juuri tämän kytketyn ongelman ratkaiseminen muodostaa reaktorimallinnuksen käytännön haasteen.

Kytetty ongelma on laskennallisesti niin monimutkainen että sen yksityiskohtainen ratkaiseminen on täydessä mittakaavassa mahdollista hädin tuskin nopeimmilla supertietokoneilla. Tällaisten menetelmien ei odoteta vielä pitkään aikaan tulevan käyttökelpoisiksi työkaluiksi suunnittelu- ja turvallisuusanalyysissä, joissa yksittäisen ratkaisun si-

jaan joudutaan väistämättä käymään läpi suuri määrä erilaisia toimintatiloja ja onnettomuuskenaarioita. Käytännössä reaktorianalyysi perustuu nykyisin monivaiheiseen deterministiseen laskentaketjuun, jossa transport-ongelman käsittelyssä siirrytään vaihe kerrallaan kohti yksinkertaisempaa kuvausta, kasvattaen samalla tarkasteltavan systeemin mittakaavaa (kuva 1). Laskentaketjun viimeisessä vaiheessa reaktorin toimintaa kuvataan homogeenisella diffuusioteoriaan perustuvalla mallilla, jossa kaikki polttoainenipun kokoluokkaa pienemmät yksityiskohdat on häivytetty, ja ydinreaktioiden monimutkainen energiariippuvuus kutistettu kahteen energiaryhmään. Tällainen malli on laskennallisesti niin kevyt että kytketyn ongelman ratkaisuun päästään järjellisessä ajassa.

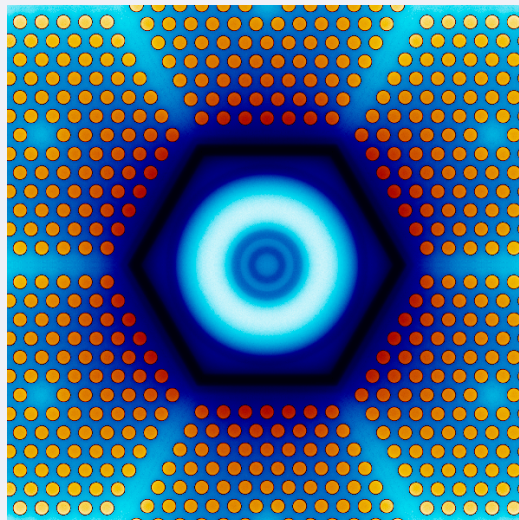
Systemaattinen homogenisointi

Yksi edellä mainitun laskentaketjun vaiheista on nk. systemaattinen homogenisointi, jossa yksittäisessä polttoainenipussa vaeltavien neutronien fysiikka tiivistetään kouralliseksi homogenisoituja ryhmävakioita. Nämä ryhmävakiot muodostavat tarvittavat rakennuspalikat laskentaketjun viimeisen vaiheen kytketylle sydänsimulaatiolle, säilyttäen reaktionopeustasapainon paikallisessa mittakaavassa. Homogenisointiin on perinteisesti käytetty kaksidimensioisiin deterministisiin transport-menetelmiin perustuvia laskentakoodoja, jotka suoriutuvat tehtävästä varsin hyvin. Determinististen menetelmien ongelma on kuitenkin niiden rajoittuneisuus. Samat ohjelmat, jotka mallintavat luotettavasti perinteisiä kevytvesireaktoripolttoaineita, voivat menettää tarkkuutensa jos niitä sovelletaan edistyneisiin polttoainetyyppeihin. Tyypillisimmin ongelmat liittyvät nipun aksiaaliseen rakenteeseen oleviin epäjatkuvuuksiin, kuten osapitkiin sauvoihin tai polttoaineen väkevöinnin tai palavan absorbaattorin aksiaaliseen profilointiin. Kevytvesireaktoreiden analyysiin kehitetyt deterministiset menetelmät eivät myöskään yleensä sovellu sellaisenaan muiden reaktorityyppien mallinnukseen.

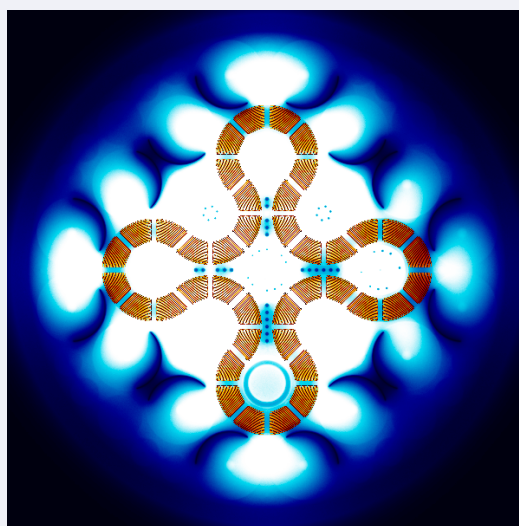
Systemaattiseen homogenisointiin voidaan periaatteessa käyttää myös Monte Carlo -menetelmää, jolloin monista polttoaineen rakenteeseen liittyvistä rajoituksista päästään eroon. Hiukkasten kulkeutumisen simulointi tapahtuu aina kolmessa dimensiossa, ja koska fysiikka kuvaavat vaikutusalat edustavat parasta olemassa olevaa tietoa neutronien vuorovaikutuksista, menetelmä soveltuu sellaisenaan minkä tahansa reaktori- tai polttoainetyypin mallintamiseen. Vielä 2000-luvun alussa ajatus Monte Carlo -menetelmän käytöstä homogenisointiin oli suhteellisen uusi, eikä yksikään saatavilla olevista neutronitransportkoodista kyennyt laskemaan kaikkia sydänsimulaattorien tarvitsemia ryhmävakioita. Monte Carlo -pohjainen palamalakenta oli myös vasta alkutekijöissään, minkä lisäksi transport-laskennan yleistyökaluiksi suunnitellut koodit olivat ryhmävakioiden tuottamiseen tarpeettoman hitaita ja hankalasti käytettäviä.

Serpent-koodin kehityshistoria

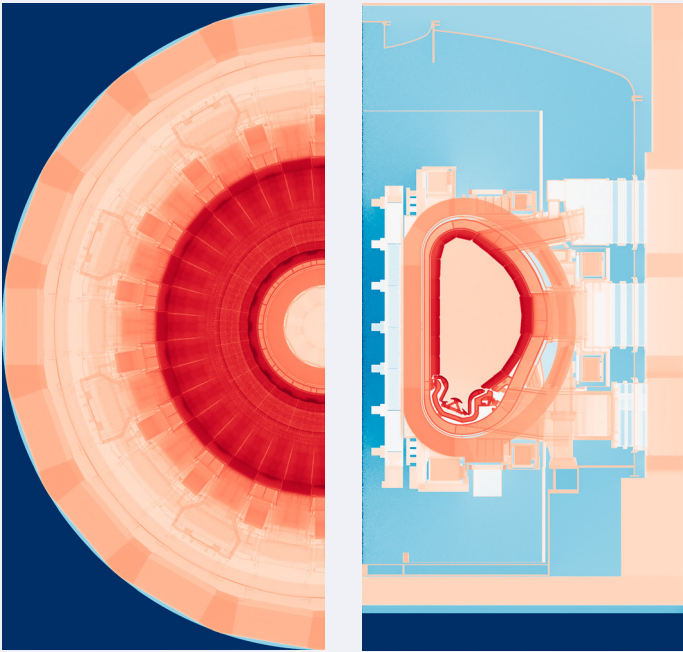
Serpent-koodin kehitys alkoi näistä lähtökohdista syksyllä 2004. Tavoitteena oli kehittää systemaattiseen homogenisointiin räätälöity yksinkertaistettu Monte Carlo -neutronitransportkoodi, joka pystyisi tuottamaan ryhmävakioita VTT:n deterministisille sydänsimulaattoreille. Käytettävyyden ja suorituskyvyn maksimoimiseksi laskentarutiinit oli automatisoitu ja optimoitu alusta pitäen polttoainenipputason reaktori-fysiikkalaskuihin. Kehitys alkoi puhtaasti harrastuspohjalta, ja työ alkoi



Kuva 2. Serpentin laskema terminen neutronivuo (kylmät värisävyt) ja fissioteho (kuumat värisävyt) VVER-440 -reaktorin säätöelementissä ja sitä ympäröivässä polttoaineessa. Nopeat neutronit kulkeutuvat polttoaineesta kuvassa mustana näkyvän booriteräksabsorbaattorin läpi, ja hidastuvat säätöelementin sisällä olevassa vesialueessa. Boori absorboi tehokkaasti termisiä neutroneita estäen niiden kulkeutumisen takaisin polttoaineeseen. Fissioteho laskee absorbaattorin lähellä olevissa polttoainesauvoissa.



Kuva 3. Serpentin laskema terminen neutronivuo (kylmät värisävyt) ja fissioteho (kuumat värisävyt) Idaho National Laboratoryn ATR-kooreaktorissa. Korkeasti väkevöidystä uranimetallista valmistettu polttoaine rakentuu kaarevista levyistä, jotka on liitetty toisiinsa neliapilan muotoon. Jokaisen silmukan sisällä on säteilytiskanava, ja reaktiivisuutta säädetään kääntyvillä lieriöillä joihin kiinnitetty absorbaattorilevyt näkyvät kuvassa mustina.



Kuva 4. Serpentin laskema fotonien törmäystiheys ITER-fuusiokooreaktorissa plasmakokeen jälkeen (väriskaala sinisestä punaiseen, logaritminen asteikko). Gammasäteilyn lähde muodostuu radioaktiivista isotoopeista jotka ovat syntyneet rakennemateriaaleihin reaktorin käydessä. Suurin osa aktiivisuudesta syntyy ensiseinäateriaaleihin lähelle fuusioplasmaa. Plasmakammio näkyy punaisena kuvien keskellä (vasemmalta kuvattuna ylhäältä ja oikealla sivusta). Laskuissa on käytetty Serpentin CAD-pohjaista geometriamallia, joka mahdollistaa monimutkaisten rakenteiden yksityiskohtaisen kuvauksen.

tuottaa lupaavia tuloksia seuraavan vuoden keväänä. Taloudellinen tilanne oli vuonna 2005 paljon nykyistä parempi, ja tutkimusrahaa löytyi myös osaamisen ja uusien laskentamenetelmien kehittämiseen. Uudelle Monte Carlo -koodille löytyi koti kansallisen SAFIR-tutkimusohjelman EMERALD -reaktorifysiikkaprojektista. Työ kasvoi myöhemmin väitöskirjaksi, joka valmistui vuonna 2007 [1].

Kehitys jatkui väitöskirjan valmistumisen jälkeen, ja seuraava tavoite oli kytkeä neutronien transport-simulaatio polttoaineen isotoopikoostumuksen muutoksia käsittelevään palamaratkaisijaan. Ilman tätä ominaisuutta ryhmävakiota oli mahdollista laskea ainoastaan tuoreelle polttoaineelle, mikä oli käytettävyyden kannalta merkittävä rajoitus. Tässä vaiheessa koko lähdekoodi kirjoitettiin uusiksi, ja nimeksi vakiintui täysin mielivaltaisesti valittu "Serpent". Palamalaskentaa varten kehitettiin tulevien vuosien aikana uusi matemaattinen ratkaisumenetelmä. Aiheesta valmistui myöhemmin toinen väitöskirja vuonna 2013. Koodin kehitystä ja tuloksia oli alusta pitäen esitelty kansainvälisissä konferensseissa, ja koska kyse oli ensimmäisestä erityisesti ryhmävakioiden tuottamiseen räätälöidystä Monte Carlo -koodista, työ sai suhteellisen paljon huomiota osakseen. Serpent annettiin julkiseen jakeluun vuonna 2009, ja kehityksen ympärille alkoi muodostua pieni mutta aktiivinen käyttäjäkunta.

Käyttäjyhteisön kasvaessa kävi ilmi että ryhmävakioiden tuottamisen lisäksi Serpentä käytettiin paljon myös muihin reaktorifysiikan laskentatehtäviin, kuten käytetyn polttoaineen inventaarilaskentaan ja

pienien kooreaktorien mallinnukseen. Vaikka Monte Carlo -menetelmä sinänsä soveltuu näihin käyttökohteisiin erittäin hyvin, laskentarutiinien optimointi polttoaineniipputason simulaatioihin toi mukanaan merkittäviä rajoituksia, erityisesti muistin käytön ja rinnakkaislaskennan suhteen. Lähdekoodi päätettiin kirjoittaa vielä kerran uusiksi vastamaan paremmin käyttäjäkunnan tarpeita, ja nykyisen Serpent 2 -ohjelmaversioon kehitys alkoi vuonna 2010. Kehitykseen saatiin vuonna 2012 merkittävä lisärahoitus Suomen Akatemialta. Kytettyyn multifysiikkalaskentaan keskittyneessä nelivuotisessa Nuclear Multi-Physics (NUMPS) -hankkeessa [2] kehitettiin edistyneitä laskentamenetelmiä ydinreaktorien toiminnan mallinnukseen. Käytännössä tämä tarkoitti Serpentin kytkemistä termohydrauliikka-, CFD- ja polttoainekoodeihin.

Serpentin käyttäjyhteisö ja sovellukset

Serpentin käyttäjäkunta on kasvanut tasaisesti sen jälkeen kun koodi luovutettiin julkiseen jakeluun. Vuoden 2016 elokuussa käyttäjiä oli 37 maan 160 organisaatiossa yhteensä yli 550. Suurin osa käyttäjäorganisaatioista on yliopistoja ja tutkimuslaitoksia, joskin teollisuuden osuus on viime vuosina ollut selvästi kasvussa. Akateemisesti painottunut käyttäjäkunta näkyy myös Serpent-aiheisten julkaisujen määrässä. Koodin kehitykseen ja sovelluksiin liittyvät aiheet ovat poikineet maailmanlaajuisesti yhteensä 60 opinnäytetyötä ja lähes 400 vertaisarvioitua lehti- ja konferenssipaperia. Suomalaisista yliopistoista (Aalto ja Lappeenranta) on valmistunut pitkälti toistakymmentä Serpent-aiheista kandi- ja diplomityötä. Väitöskirjoja on valmistunut yhteensä viisi ja vähintään neljä uutta on parhaillaan työn alla. Serpent tunnetaan kansainvälisessä reaktorifysiikan tutkimusyhteisössä varsin hyvin. Kansainvälisten konferenssien yhteydessä on järjestetty useita Serpent-töpäjoja, ja koodia on käyty esittelemässä yliopistoissa ja tutkimusorganisaatioissa ympäri maailmaa. Serpent käyttäjille on järjestetty vuodesta 2011 eteenpäin kansainvälisiä käyttäjäkokouksia Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Vuoden 2016 kokous järjestettiin syyskuussa Milanossa.

VTT:n laskentajärjestelmässä Serpentä voi nykyisin luonnehtia eräänlaiseksi reaktorifysiikan yleistyökaluksi (kts. esimerkit kuvissa 2 ja 3). Koodilla on tehty esimerkiksi kriittisyysturvallisuusanalyyskejä ja käytetyn polttoaineen radionuklidi-inventaarilaskentaa. Kokonaisuuden kannalta tärkein tehtävä lienee kuitenkin ryhmävakioiden tuottaminen Apros-systeemikoodille, sekä polttoainekierto- ja transientianalyysissä käytettäville sydänsimulaattoreille. Nämä Suomessa kehitetyt työkalut muodostavat yhdessä kokonaisen laskentajärjestelmän ydinreaktorien turvallisuusanalyysseille, ja niiden kehitys on omiaan lisäämään kansallista ydinenergiaosaamista ja kasvattamaan uusia asiantuntijoita alalle. Serpentin kehityksestä ja ylläpidosta vastaa nelihenkinen ydintiimi, minkä lisäksi kehitystyöhön ovat osallistuneet monet Serpent-käyttäjät Suomessa ja ulkomailla. Aktiivisten käyttäjien muodostama kansainvälinen asiantuntijaverkosto on osoittautunut äärimmäisen hyödylliseksi resurssiksi paitsi uusien menetelmien kehityksen, myös koodin testauksen ja kelpoistamisen kannalta. Kontaktit ja yhteistyö ulkomaisten yliopistojen ja tutkimuslaitosten kanssa ovat poikineet myös useita tutkijavaihtoja.

Tulevaisuuden näkymiä

Meneillään oleva kehitystyö voidaan jakaa karkeasti kolmeen aihepiiriin: edistyneiden homogenisointimenetelmien kehittämiseen, kytkettyyn

multifysiikkalaskentaan sekä uusiin sovellusalueisiin reaktorifysiikan ulkopuolella. Edellä mainittu systemaattiseen homogenisointiin perustuva perinteinen laskentaketju ja kytketty multifysiikkalaskenta lähestyvät reaktorimallinnuksen haastetta hieman eri näkökulmista. Meneillään olevassa SAFIR2018 -tutkimusohjelmassa tarkastellaan parhaillaan VTT:n sydänsimulaattorikoodien laskentatarkkuuden parantamista siirtymällä perinteisistä 2D-homogenisointimenetelmistä 3D-laskentaan. Aiheesta valmistui diplomityö kesällä 2016. Suomessa reaktorifysiikan tutkimus on keskittynyt vahvasti perinteisten kevytvesireaktorien teknologiaan, mutta maailmalla Serpentillä tuotettuja ryhmävakioita on käytetty paljon myös muiden reaktorityyppien, mukaan lukien neljännen sukupolven reaktorien analyyseissä.

Suomen Akatemian rahoittama NUMPS-hanke on muodostanut ylivoimaisesti suurimman osan kehitykseen varatusta rahoituksesta viimeisen neljän vuoden aikana, mikä on samalla ohjannut tutkimusaiheita kytketyn laskennan suuntaan. Vaikka Monte Carlo -menetelmän kytkeminen termohydrauliikkaan tai varsinkaan CFD-laskentaan ei vielä nykyisten tietokoneiden laskentakapasiteeteilla uhkaa homogenisointiin perustuvien menetelmien valta-asemaa rutiinimaisissa suunnittelu- ja turvallisuusanalyyseissä, reaktorisydämen neutroniikan ja jäähdytteen virtauksen yksityiskohtainen mallintaminen on tärkeää monissa erityissovelluksissa. Monte Carlo -simulaatioilla voidaan täydentää ja

joissain tapauksissa jopa korvata kalliita kokeita, minkä lisäksi menetelmä soveltuu hyvin determinististen laskentakoodien keloistamiseen. Koska kytketyn mallinnuksen laskennallinen haaste skaalautuu pitkälti reaktorisydämen koon mukaan, nykyiset menetelmät ja tietokoneet soveltuvat jo sellaisenaan moniin pienten koereaktoreiden ja esimerkiksi SMR-kokoluokan reaktoriteknologian mallinnustehtäviin. Sama pätee tiettyihin neljännen sukupolven reaktorityyppeihin, esimerkiksi sula-suolareaktoreihin.

Serpent-koodin tulevaisuuden kehityskohteet tulevat määräytymään pitkälti saatavilla olevan tutkimusrahoituksen perusteella. Akatemiarahoitteinen NUMPS-projekti päättyi elokuussa 2016, eikä vastaavaa korvaavaa rahoitusta ole toistaiseksi näköpiirissä. Viime vuosina koodin sovelluskohteita on pyritty laajentamaan reaktorifysiikasta säteilysuojelulaskentaan ja fuusioneutroniikkaan (kuva 4). Neutronien lisäksi Serpent soveltuukin nykyisin myös gammasäteilyn kulkeutumisen mallintamiseen. Säteilysuojelulaskennan ja erityisesti fuusiotutkimuksen tarpeisiin on kehitetty monimutkaisten rakenteiden kuvaamiseen soveltuva CAD-pohjainen geometriamalli. Meneillään olevassa väitöskirjatyössä puolestaan tutkitaan fuusioplasman mallinnukseen käytettävien laskentatyökalujen kytkemistä Serpentin neutronilähderutiiniin. Uusia tutkimusaiheita on etsitty myös lääketieteellisen fysiikan ja avaruustekniikan säteilylaskentasovelluksista.

Viitteitä

Serpentin kehitystä ja sovelluksia on kuvattu tieteellisissä julkaisuissa jotka on listattu koodin www-sivulla (<http://montecarlo.vtt.fi>). Edellä esiteltyjä aiheita on käsitelty esimerkiksi seuraavissa julkaisuissa:

- [1] Leppänen, J. "Development of a new Monte Carlo reactor physics code." D.Sc. Thesis, Helsinki University of Technology, 2007. (VTT Publications 640)
- [2] Leppänen, J., Hovi, V., Ikonen, T., Kurki, J., Pusa, M., Valtavirta, V., Viitanen, T. "The Numerical Multi-Physics project (NUMPS) at VTT Technical Research Centre of Finland." *Ann. Nucl. Energy*, 84 (2015) 55–62.
- [3] Leppänen, J., Pusa, M., Viitanen, T., Valtavirta, V., Kaltiaisenaho, T. "The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013." *Ann. Nucl. Energy*, 82 (2015) 142–150.
- [4] Leppänen, J., Pusa, M., Fridman, E. "Overview of methodology for spatial homogenization in the Serpent 2 Monte Carlo code." *Ann. Nucl. Energy*,

Kirjoittaja:



TKT Jaakko Leppänen
Senior Scientist, VTT
Adjunct Professor, Aalto University
jaakko.leppanen@vtt.fi

Fuusioreaktorista uuden tekniikan soveltamiseen

Timo Määttä¹, Pertti Pale²

¹Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, ²PPF Projects Oy

ITER on maailman kaikkien aikojen vaativin projekti. Teknilliset haasteet ovat valtavat. Kehitetään, rakennetaan ja kootaan yhteen uusia materiaaleja, uusia menetelmiä ja uusia laitteita – laajana kansainvälisenä yhteistyönä. Työ alkoi lähes 30 vuotta sitten; edessä on ainakin 15 vuotta ennen kuin fuusiokooreaktorin koetoiminta voi alkaa. Suomi on ollut projektissa vahvasti mukana ja on hyötynyt siitä paljon.

ITER is the most demanding project in the world. Technical challenges are huge. New materials, new methods and new equipment are developed and assembled in wide international cooperation. The work started nearly 30 years ago, but still at least 15 years of time is ahead before the actual trial activities can start. Finland has been active in ITER since 1995 and has gained great benefits of the cooperation.

Fuusienergian historia on täynnä draamaa. Lähes kaikki avaruuden energia on fuusioenergiaa. Fuusiopommin kehitystyön vanavedessä syntyi Neuvostoliitossa ja USA:ssa 1950-luvulla idea fuusioenergian rauhanomaisesta käytöstä. Ensimmäiset fuusiokoneet (pienet kooreaktorit) käynnistyivät 1960-luvulla ja innostus oli suurta. Ajateltiin, että nyt on mahdollista löytää ”lopullinen ratkaisu” ihmiskunnan energiapulaan. Pian huomattiin, että kehitystyötä tarvitaan erittäin paljon ja kansainvälinen yhteistyö on välttämätöntä. Vuonna 1985 Gorbatsov ja Reagan ehdottivat, että kansainvälinen yhteisö yhdessä alkaa kehittää fuusioenergiaa ”as an inexhaustible source of energy for the benefit of mankind”. Tämä oli ITER-projektin alku.



Kuva 1. Rakentaminen alkoi 2010 Cadarachessa Ranskassa ja se edennyt jo reaktorirakennukseen. Kuvassa työmaan tilanne heinäkuussa 2016 [1; EJF Riche].

Gorbatsevin ja Reaganin ehdotuksesta on nyt kulunut 31 vuotta. ITER-projekti on käynyt läpi lukuisia kriisejä ja muutoksia. Se ei ole ihme, sillä ITER on maailman kaikkien aikojen vaativin projekti.

Ennen kokemattomia haasteita

ITERissä on lukuisia piirteitä, jotka tekevät projektista erittäin vaativan:

- Fysiikka: valtavia voimia, jotka pitää hallita, suuria lämpötiloja;
- Materiaalitekniikka: pitää kehittää aivan uusia materiaaleja;
- Prosessi monella tapaa: pitää kehittää lukuisia uusia menetelmiä, esimerkkinä lämmön siirto pois reaktorista;
- Huolto, koska se on tehtävä kokonaan etäohjauksella: jo ennalta suunnitellut huoltotoimenpiteet ovat massiivisia operaatioita, lisäksi pitää pystyä hoitamaan kaikki yllättävät tilanteet kuten osien tai komponenttien juuttuminen kiinni yllättävällä tavalla.

Ennen kokematon kansainvälinen yhteistyö:

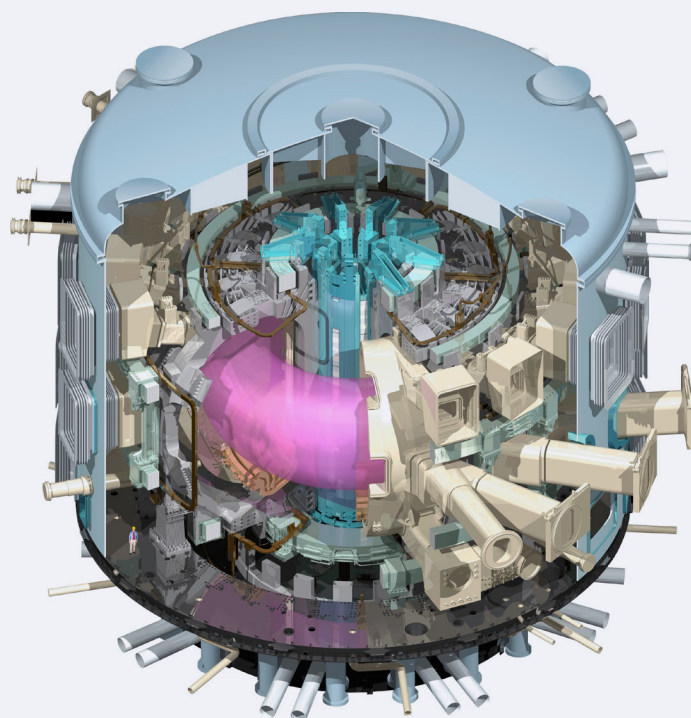
- Kehitystyö tehdään laajana kansainvälisenä yhteistyönä;
- Mukana on melkein koko maailma: EU, Yhdysvallat, Venäjän federaatio, Japani, Kiina, Etelä-Korea ja Intia.

Ennen kokematon kehitys- ja rakennusprojekti:

- ITER rakennetaan projektina, jossa hallinto, kehitys, suunnittelu ja toteutus on jaettu osallistujamaiden kesken;
- Fuusioreaktorissa ”melkein kaikki vaikuttaa kaikkeen”. Reaktori on erittäin tiivis ja marginaaleja on hyvin vähän;
- Projektin aikana opitaan jatkuvasti uusia asioita, jotka vaikuttavat laajasti projektiin.

Kansainvälinen Big Science -projekti

Suomi on ollut mukana ITER-projektissa osana laajaa kansainvälistä yhteisöä. Suomi on keskittynyt tässä Big Science -projektissa plasman



Kuva 2. Malli ITER-fuusioreaktorista [1].

hallintaan, materiaalien sopivuuteen, vaativiin teräsrakenteisiin ja huollon tekniikan kehittämiseen. Näitä osaamisia Suomi hyödyntää sekä itse fuusioreaktorin toimitusprojekteissa, että ydinenergia-alan ja muiden teollisuusalojen hankkeissa. Automaatio on keskeistä osaamista, jota voidaan soveltaa niin fissioreaktoreissa kuin muissakin energia- ja tuotantolaitoksien toimituksissa ja kehityshankkeissa.

Fuusioreaktori rakennetaan Ranskaan Cadaracheen ja sen tutkimuksellinen toiminta alkanee 2030-luvulla. ITER-hanke (International Thermonuclear Experimental Reactor) on valtavan kokoinen kansainvälinen projekti, jossa jäsenmaat toteuttavat noin 15 miljardia euroa maksavan ja erityisen vaativan kehityshankkeen yhteistyönä. ITER on teknisen kehityksen lisäksi rauhanprojekti: työtä tekevät rinta rinnan läheisessä yhteistyössä monet kansallisuudet, joiden yhteiset hankkeet ovat harvassa.

Maailmalla on tutkittu ja kehitetty fuusiotekniikkaa useissa eri tutkimusyksiköissä. Yksi kehittyneimmistä on Euroopassa Culhamissa Oxfordin lähellä Englannissa sijaitseva JET (Joint Experimental Tokamak), jossa moni suomalainen tutkija on voinut osallistua keskeisiin fuusiotutkimuksiin ja JETin koeajoihin. ITER-reaktorin suunnittelu perustuu myös näihin tutkimuksiin.

ITERin rakentaminen alkoi 2010 ja nyt rakennuksista on arviolta noin 75 % jo rakennettu (Kuva 1). Eri mailla on omat vastualueensa reaktorin osista ja teknisistä alueista. Nämä toimitetaan in-kind-periaatteella, eli kukin maa vastaa osatoimituksien kustannuksista ja toteutuksesta. Euroopan osuus on noin 45 % hankkeen kokonaiskustannuksista, jotka sisältävät myös maa-alueen ja rakennukset. Ranskan osuus EU:n osuudesta on suurin. Suomikin on saanut osan toteutuksista sekä tutkimus- että toimeksiantopuolella ja on ollut hyvin mukana toimeksiantojen kansainvälisessä kilpailussa heti suurten maiden kuten Ranskan, Saksan, Iso-Britannian, Italian ja Espanjan jälkeen. Tämän tilanteen pysyminen vaatisi hyvää aktiivisuutta.

Reaktorirakennuksen koko on samaa luokkaa kuin 7-kerroksisen kerrostalon. Itse reaktorin koko on sekä korkeudeltaan että halkaisijal-

taan 30 metrin luokkaa. Kuvassa 2 on kuvamalli reaktorista. Keskellä on Tokamak-tyyppinen, eli munkkirinkilän mallinen, kammio, jossa plasma tulee liikkumaan magneettikentässä. Plasman lämpötila kohoaa noin 150 miljoonaan celsiusasteeseen. ITER-reaktori on siis vain koereaktori, jolla todennetaan reaktorimallin toiminta sekä kehitetään tekniikoita, materiaaleja ja toimintatapoja. Uusia tuotantoon tarkoitettuja reaktoreita jo suunnitellaan ITER-reaktorin tietämyksen ja kokemuksen pohjalta.

Kaikkiaan alueella tulee olemaan 39 rakennusta ja teknistä aluetta. Reaktorirakennuksen lisäksi alueelle tulee mm. huolto- ja varastointirakennuksia sekä päärakennus. Rakentamisen aikana tarvitaan kaikkiaan 2 300 työntekijää. Komponenttien asentaminen alkaa rakennusten valmistuttua. ITER-reaktorin aikataulu on viivästynyt erityisesti rakennusten takia. Komponentteja odottaa jo pääsyä kohteeseen usein osallistujamaiden varastoissa.

Reaktorin tekniikka on hyvin monimutkaista ja sen kehittämisessä on valtavia haasteita. Erityisesti materiaalit ovat vaikean tehtävän edessä kovan lämpötilan ja säteilyn takia. Lisäksi automaatiolta ja konetekniikalta vaaditaan erittäin suurta luotettavuutta. Toisaalta fuusioreaktorilla on merkittäviä hyviä puolia verrattuna muihin ydinvoimalaitoksiin. Kaksi merkittävintä on polttoaineen saatavuus ja toinen on turvallisuus. Prosessissa käytetään aineita, joita löytyy luonnosta lähes määrättömästi eikä niitä tarvita suuria määriä reaktoria kohden. Lisäksi prosessi on itsessään turvalliseen tilaan ohjautuva häiriön sattuessa. Fuusioreaktori ei siis sula ja päästä radioaktiivista ainetta ympäristöön.

Uusi aikataulu on hyväksytty viime vuoden lopulla. ITER-reaktorin ns. first plasma, eli tilanne, jossa reaktori on suljettu mutta kaikkia järjestelmiä ei ole vielä asennettu, on asetettu vuoden 2025 joulukuuhun, aiemman aikataulun ollessa vuodessa 2020. Tämän mukaan reaktorin toiminta alkaisi 2030-luvulla. ITERin toimintaperiaate on tutkia, miten tuotantokokoa vastaavassa laitoksessa voidaan toteuttaa fuusioreaktio ja tarvittava lämpöenergia turbiineille hallitusti, turvallisesti ja luotettavasti.

Vaikka ITER-reaktoria vasta suunnitellaan ja rakennetaan, ovat useat eri maat jo suunnittelemassa tuotantokäyttöön tulevaa seuraavaa reaktoria. Eurooppa valmistautuu tulevaan suunnittelemalla DEMO-reaktoria (DEMONstration Power Plant), joka pohjautuu ITER-reaktorin suunnitteluun ja toteutukseen liittyvien kokemusten hyödyntämiseen. Myös muut maat kuten Etelä-Korea ja Kiina suunnittelevat omia seuraavan sukupolven fuusioreaktoreita.

Etäoperointi yksi Suomen vahvuuksista

Suomi on ollut ITER-projektissa siitä lähtien, kun Suomi vuonna 1995 liittyi Euroopan Yhteisöihin. Suomen tutkimus- ja toimeksiantohankkeet ovat kohdistuneet mm. plasman hallintaan, materiaalitutkimukseen, vaativiin teräsrakenteisiin ja huollon konejärjestelmän suunnitteluun. Hankkeiden volyymi on ollut 3–5 M€/vuosi. Kansallinen rahoitus on koostunut Tekesin, Suomen Akatemian sekä yliopistojen ja tutkimuslaitosten omista rahoituksista ja ollut luokkaa 2–3 M€/vuosi. Tutkimus- ja kehitystyöhön ovat osallistuneet yliopistot ja tutkimuslaitokset sekä muutamat suomalaiset yritykset. VTT:llä on ollut keskeinen rooli. Hankkeissa on saatu uutta tietoa ja osaamista plasmafysiikasta, materiaaleista ja vaativista konejärjestelmistä. Simulointi, testaussuunnittelu ja uusien suunniteltutyökalujen soveltaminen on kehittynyt valtavasti näissä hankkeissa.

Yksi merkittävä kohde tutkimus- ja kehitystyössä on ollut reaktorin pohjalla olevan divertorin vaihtoon liittyvän tekniikan kehittäminen. Siinä VTT ja Tampereen teknillinen yliopisto (TUT) ovat tehneet yhteistyötä soveltaen simulointi- ja virtuaaliodellisuustekniikoita. Kohteena ovat vesihydrauliikkajärjestelmät, ohjaustekniikka, etäoperointijärjestelmät, kunnonvalvonta ja luotettavuus. TUT on kehittänyt vesihydraulisen manipulaattorin, joka toimii hyvin ahtaissa tiloissa, pystyy käsittelemään painavia työkaluja, tuottaa suuren vääntömomentin ja on ohjattavissa force-feedback-tekniikalla. VTT:llä on divertorin vaihtoon liittyvän järjestelmän todellisen kokoinen mock-up, jossa tehdään divertorin vaihtoprosessin kokonaisvaltaisia toiminnallisia testejä.

Kuvassa 3 näkyy divertorikasetti DTP2-testausjärjestelmässä (Divertor test Platform 2). Toimintaa ohjataan etänä ohjaamosta, jossa laitteiden liikkeet on välitetty operaattorille tietokonemallien kautta. Itse reaktorissa ei voi käyttää kameroita joten siksi liikkeet, asemat ja asennot välitetään virtuaalimallien avulla. Tätä tekniikkaa on kehitetty suomalaisissa ITER-hankkeissa. Kuvassa 4 on esimerkkitalanne ohjaamosta huoltoajon aikana.

Divertorikasetin vaihtoon liittyvän tekniikan ja prosessien kehittämisen lisäksi VTT:llä kehitetään myös etäoperoitua liitintä diagnostiikkajärjestelmiin. Siinä kasettiin liitettävän liittimen vaatimuksina ovat muun muassa suuri pinnien lukumäärä, joustavuus, luotettavuus ja etäoperoitavuus ympäristövaatimusten lisäksi. Kaikkiaan 17 reaktorissa olevaa divertorikasettia sisältää diagnostiikkaan liittyvät erikoisliittimet. Kuvassa 4 on esimerkki yhdestä kehitystyön aikaisesta konseptista. Kehityshanke jatkuu vielä valmistukseen, eli vuoteen 2019 saakka.

VTT:n ja Tampereen teknillisen yliopiston yhteistyönä jatkuu divertorikasetin etäoperoinnin hallintajärjestelmän kehittäminen. Tarkoituksena on luoda malli ohjausjärjestelmälle, jota voidaan soveltaa muissakin ITER-reaktorin etäoperoiduissa konejärjestelmissä. VTT keskittyy hankkeessa etädiagnostiikkajärjestelmän kehittämiseen (Remote Diagnostics) ja TTY manipulaattorin tietokoneavusteiseen etäoperointiin (Computer Aided Telerobotic). Nämä valmistuvat vuoden 2017 aikana.

Suomi osallistuu myös DEMO-reaktorin suunnitteluun, jossa kohteena on divertorin etähuoltojärjestelmä. VTT on mukana yhteistyössä Euroopan fuusioenergiatutkimusta koordinoivan EUROFUSIONin kanssa selvittämässä, miten ITER-hankkeessa suunniteltu huoltojärjes-



Kuva 3. Noin 9 tonnia painavan divertorikasetin millintarkkaa etäohjausta testataan DTP2-testausjärjestelmässä VTT:n tiloissa Tampereella.



Kuva 4. ITER –DTP2 etäohjaamo.

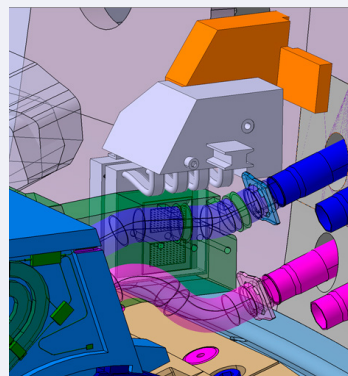
telmä soveltuu DEMO-reaktoriin ja miten ITERissä ilmenneitä ongelmia voidaan välttää DEMO-reaktorissa.

DEMO-reaktorin huoltovaatimukset ovat ITERiä tiukemmat, koska tavoitteena on kaupallinen voimalaitos. ITERissä havaitut huollon ongelmat ja pitkät huoltoseisokit aiheuttaisivat merkittäviä lisäkustannuksia, jotka tulee kaupallisesti toimivassa laitoksessa minimoida ja mahdollisuuksien mukaan välttää. Lähtökohtana DEMO-reaktorin diverttorin huollon suunnittelussa on ollut modulointi ja mahdollisimman yksinkertaiset rakenteet.

Mahdollisuudet hyödyntää kehitettyjä tekniikoita

ITER-reaktori sisältää paljon tekniikkaa, jolla ei teollisuudessa tällä hetkellä ole suoraa käyttöä. Eräs esimerkki on koneen huoltoon liittyvät useat etäoperointijärjestelmät. Niiden kehittämiseen, suunnitteluun ja rakentamiseen tarvitaan kuitenkin hyvin kehittyneitä System Engineering -menetelmiä, joita voidaan soveltaa muihinkin teollisiin kehityshankkeisiin.

ITER-hankkeessa on mahdollista soveltaa uusimpia tekniikoita sekä suunnittelussa että tutkimuksessa. Hanke palvelee siten sekä perustutkimuksellisia että käytännön sovelluskohtaisia haasteita. Uusia materiaaleja ja niiden ominaisuuksia on mahdollista kehittää vaativiin ympäristöihin, muihinkin kuin ydinvoimalaitoksiin. Kehitetyt simulointitekniikoita voidaan soveltaa sekä fysiikan perustutkimukseen, että tuotesuunnitteluun. Hankkeen vaatimukset ovat suuret ja ydinvoimateollisuus edellyttää hyvää vaatimusten hallintaa, mikä luo mahdollisuuksia prosessien ja työkalujen kehittämiseksi. Näillä on käyttöä myös muilla aloilla laadun parantamisessa ja prosessien tehostamisessa.



Kuva 5. Etäoperoitava erikoisliitin diverttorikasetissa.

Yrityksille osallistuminen ITER-hankkeen toimituksiin antaa mahdollisuuden kehittää omaa osaamista ja luoda referenssejä laajoista vaativista toimitusprosesseista etenkin ydinvoima-alalla. ITER-projektin toimintaympäristö on erittäin vaativa: laatu- ja toimintatapojen on oltava maailman huippua. Yritys, jolla on toimituksia ITER-hankkeessa, kelpaa kaikkialle. ITER-projektin siirtyessä nyt pienempiin toimituksiin, on suomalaisilla yrityksillä jopa paremmat mahdollisuudet osallistua niihin. Suomalaisilla yrityksillä onkin jo toimitusprojekteja ITERiin. Verkottamalla ja muodostamalla hyviä konsortioita yrityksillä on myös mahdollisuus laajentaa osallistumista tähän kansainväliseen Big Science -projektiin.

Viitteet:

[1] ITER home page www.iter.org. Viitattu 11.10.2016.

Kirjoittajat:



TkT Timo Määttä

Principal Scientist, Älykäs teollisuus ja energiajärjestelmät, Tuotanto- ja konejärjestelmät
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
timo.maatta@vtt.fi



DI Pertti Pale

ITER-asiantuntija, osallistunut projektiin vuodesta 1994
PPF Projects Oy
pertti.pale@ppf.fi



OL1:n suojarakennus muotoutuu. (Kuva: TVO)

Suomalaisen ydinvoiman paluu



Olli Nevander
Nuclear Safety Specialist, OECD

ATS PERUSTETTIIN viisikymmentä vuotta sitten 1960-luvulla. Berliinin muuri erotti idän ja lännen, vahvojen aatteiden jyrkät vastakkainasettelut ja johtavien jenkkipoliitikkojen murhat kuohuttivat tunteita ympäri maailman. Nyt viisikymmentä vuotta myöhemmin sama toistuu: supervallassa puhutaan Meksikon muurista ja aseita kannetaan julkisilla paikoilla, 60-luvun lopun ilmapiiri läheenee. Euroopassa ja Lähi-idässä uskonnot taistelevat terrorin aseina. Suomen itänaapuri pulistelee ja ystävyys viilenee. Aasiassa pelkona on Kiinan sapelin kalistelu tai taantuminen uuteen kulttuurivallankumoukseen. Jopa naisten ja miesten saavutettu tasa-arvo ollaan kyseenalaistamassa aatteiden taistellessa vallasta ja sieluista. Kuten amerikkalainen kirjailija Mark Twain aikanaan totesi: ”Historia ei koskaan toista itseään, mutta usein se riimittelee”.

Suomen atomitekniikkojen liittyessä yhteen, ydinvoimaa ympäröivä mielipideilmasto oli toisenlainen. Ydinvoiman riskit toki tunnettiin, mutta niiden ei uskottu olevan ylivoimaisia, tai erilaisia verrattuna muihin maailman riskeihin.

Kehitystyötä tehtiin innolla ja ydinvoiman riskit selvitettiin ja otettiin haltuun tavalla, joka tuoloin tuntui riittävältä. Usko ydinvoiman mahdollisuuksiin ratkaista energian tarve oli suuri. Heinäkuussa 1965 IVO lähetti laitostoimittajille yksilöidyt tarjouspyynnöt, pyytäen tarjousta pienestä ydinvoimalaitoksesta. Laitoshanke jatkui muutaman vuoden ajan monitahoisilla tarjouskilpailuilla päättyen sopimuksen tekoon Neuvostoliiton kanssa. Huhut tuolloisesta länsitarjousten kopioinnista itään ovat jääneet ilman virallista vahvistusta. Pakottiiko tunarit ruotuun runnaava johtaja tai joku muu poliittinen korkea voima jonkun toimijoista muuhun kuin laitoksen ostoon idästä?

Olkiluodossa taas ruotsalaisten jenkeistä saamaa ja jo parantelemaa tekniikkaa sovellettiin ja kohennettiin Suomessa omistajan avustuksella. 60-luvun hankkeissa toimittaja halusi tuottaa laitoksen, joka käynnistäisi laitystyyppin viennin ympäri maailman. Viennin ajatus sai Olkiluodon toimittajan ja alihankkijat; ja IVO:n insinöörit tekemään vimmaisesti laityssuunnittelua kustannuksista valittamatta. Tuolloiset sopimukset sallivat omistajan johdolla toteutetut muutokset suunnitteluun. Vuonna 1970 allekirjoitettu Loviisan sopimus pohjautui ministeri Leskisen vuonna 1969 tekemään ”kättä päälle”-kauppaan. Osallistujien mukaan Leskinen teki kaupat suurpiirteisesti kysymättä edes tuleeko Loviisan ykkösreaktori nyt sitten yhdellä vai kahdella höyryturbiinilla!

Loviisa-projektissa toimittajan laadunhallinta oli huteralla pohjalla ja laitteita lähetettiin takaisin niiden heikon laadun vuoksi. Koko laadunhallinta oli neuvostoliittolaiseen viisivuotissuunnitelmaan kuulumaton, outo käsite – toisaalta entisessä Neuvostoliitossa laitevastuu saattoi viedä huonon laitteen suunnittelijan tutustumaan työleirin iloihin tai katsoomaan Kalashnikovien piippuihin. Loviisan projektissa toimittajan laadunhallinnan puutteet paikattiin suomalaisella työllä, taidolla ja joskus tuurillakin. Olkiluodon ensimmäisissä yksiköissä hyödynnettiin ruotsalaisen ydintekniikan johtotähden Asea-Atomin tehokkaita laadunhallintajärjestelmiä. Noilla hiotuilla toimintamalleilla rakennettiin useita laitoksia sarjassa Suomessa ja Ruotsissa. Olkiluodon kolmosessa laityssopimus oli tarkka, mutta monen osan lopullinen suunnittelu on tehty vasta sopimuksen jälkeen. Niinpä toimittajan

aloittelevat suunnittelijat eivät ymmärrä tai halua ymmärtää kaikkea sopimuksen tarkoittamaa tekniikkaa. Hankkeessa on usein nähty, että ranskalainen kyllä tuntee sanan laatu, mutta luulee sanan liittyvän vain johtajille tarjottavaan viiniin ja shamppanjabaarissa kohdattaviin seuralaisiin. Ranskalainen projektitapa – kustannukset paisuvat kuin pullataikina ja aikataulu venyy kuin fondue-juusto on nyt tuttu ydinalan toimijoille.

Imatran Voiman tarjouskilpailunsa pohjaksi tuottamat 60-luvun tekniset vaadelistat olivat aikansa huippua. Samantasoisten toimittajaa ohjaavien omistajan vaateiden tekeminen ei ole onnistunut nykyisissä hankkeissa. Loviisan laitoksen tekniset ja turvallisuusratkaisut ovat suomalaisten valitsemia ja toteuttamia, vaikka ulkomaista apua ja oppia koottiin paljon. Hankkeissa teknistä osaamista pyrittiin saamaan omaan haltuun. Ydinvoimalahanketta perusteltiin kansainvälisen kilpailukyvyyn kehittämällä ja nuorta insinööriä palkattiin sisään. IVO:n hankkeen seurauksena perustettiin betonin tutkimuslaboratorio, useita ydintekniikan koelaitteistoja sekä kokonainen teollisuuspumpujen tuotantoala. Vastaavasti kiinalaisten nykyiset ydinalan sopimukset sisältävät teknologian vaihdon ja omistajan henkilöstön laajan prehdytyksen uuteen tekniikkaan. Kopiointi on siis sopimuksen mukaista ja tiedonvaihto-osa mahdollistaa joustavan yhteistyön asiantuntijatasolla!

ATS:n jäsenmäärä oli 1960-luvun lopulla alle sadan, mutta laitoshankkeiden vetäessä alalle tulvi Loviisan rakentajien: "IVO:n oravakompanian" kaltaista nuorisoa. Nuorison oppiessa luotiin pohja monelle suomalaisen teollisuusviennin menestystarinalle seuraavina vuosikymmeninä. Nykyisin puheissa toistettava turvallisuuskulttuuri taas toimi akateemikko Laurilan hengessä: "Turvallisuus varmistettiin pirun kovalla moraalilla". Turvallisuusuholista ei menty puhumaan viranomaisille ja kysytty heiltä neuvoja, vaan turvallisuudesta otettiin omistajan vastuu, asiat hoidettiin "kerralla valmista" -periaatteella ja ratkaisut esiteltiin avoimesti! Pioneerihenkisellä porukalla oli myös onnea mukana toimissaan ja Olkiluodon ja Loviisan laitosten kauppojen edullisuus mahdollisti halvan sähkön 1980-luvun Suomessa. Loviisan laitosten takaisinmaksuaika oli noin neljä vuotta, niinpä Loviisan tuotosta on riit-

tänyt vuosikymmeniä rahaa omistajayhtiön muihin seikkailuihin ja jopa johdon optioihin.

Yksi syy Euroopan ja USA:n ydinvoiman turvallisuusasioiden luvituksen toimimattomuudelle on ydinlaitosten onnettomuuksiin ja muihin tapahtumiin reagoinnin ja kokeuksista oppimisen siirtyminen viranomaisille. Suomessakin Olkiluoto 3 suuntasi voimat viranomaissuunnitteluun, koska avaimia odotellut omistaja ei panostanut suunnitteluun. Kun ydinturvallisuusviranomaiset ohjaavat suunnittelua, ratkaisuja ei hinnoitella. Konservatiivisesti laskettaessahan 1+1 on vähintään 3. Ydinvoiman riskit tuntuvat kasvaneen, vaikka pahoja onnettomuuksia ei ole sattunut kovinkaan paljon ja vanhoille laitoksille tapahtuneet eivät ole tulleet varsinaisina yllätyksinä. Jo 1970-luvun lopussa korkeakoulun reaktoritekniikan kurssilla opetettiin, että venäläinen Tshernobyl-tyyppinen kanavajäähdytteinen (RBMK) reaktori, jossa käytetään vettä jäähdytteenä ja grafiittia hidastamaan neutroneita, on suunniteltu väärin. Sotilaspuolen tekniikkaan pohjautuva laitostallin rikkoi kriittisyysuunnittelun periaatteita ja tähän ei varauduttu riittävästi. Vuonna 1986 ikävä totuus nähtiin käytännössä, termisen ydinrajähdysten rikkoessa reaktorin. Fukushimaa taas suunnittelu laitospaikan uhkien ja vakavan onnettomuuden varalle oli pahasti puutteellista. Fukushiman seurauksena eri vaateita ja ulkoisia uhkia on alettu yhdistellä ja suunnittelu on monimutkaistunut kaikkialla. Riskien kirjo on usein yliampuva. Nykypäivän suunnittelun uhkakuvassa vuosituhaten suurimman myrskyn ja hurjan salamoinnin aikaan tapahtuu maanjäristys ja samalla hetkellä hyökkäävät terroristit laitospaikalle raskain aseina. Kiinalainen sananlasku sanoo: "Vaikka tuhat ihmistä uskoisi hölynpölyyn, se on silti hölynpölyä."

Fennovoiman laitoshanke etenee hitaasti ja sitoo yhä uusia suomalaisia. Sopimusteknisesti hanke on mielenkiintoinen sekoitus uutta ja vanhaa yhteistyötä venäläisten kanssa. Ikävä kyllä 70-luvun hankkeiden menestystekijöiden tunnistus on jäänyt ydinvoiman toimijoilla lapsenkenkiin. Positiivista Fennovoiman hankkeessa on sen vetovoima nuorison suuntaan ja vahva työntö itänaapurin puolelta. Fennovoiman hanke voi kantaa suomalaista ydintekniikkaa seuraavat vuosikym-

menet. Mutta onko laitosseppä kunnossa? Pitäisikö omistajalla olla mahdollisuus sitoa mukaan vapaata eurooppalaista konsulttivoimaa? Saksassa ja Sveitsissä olisi vapaana kokeneita toimijoita ydinvoimahankkeeseen. Olisiko aika palata juhlavasti suomalaisen ydinvoiman juurille ja viedä kuudes ydinvoimahanke loppuun vahvalla yhteistyöllä? Jos vain odotellaan laitossavainta ja presidentin juhlapuhetta avajaisissa, odotus voi olla pitkä! Toivottavasti Fennovoiman neuvotteluhuoneissa valmistellaan uusia yhteistyöavauksia hankkeen varmistamiseksi. "Avaimet käteen" -rakennettava ydinvoima osoittautui vain johdon unelmaksi 1960-luvulla jo ennen sopimuksen tekoa ja 2000-luvulla suomalainen ostaja totesi saman vasta sopimuksen jälkeen. Onko avaimien saaminen vain unelmaa myös 2020-luvulla? Loviisa 1 rakennettiin kuudessa vuodessa, kun osa sopimuksista pystyttiin neuvottelemaan suomalaisten hallinnoimiksi toimituksiksi. Olkiluoto 3 kestänee lähes 15 vuotta. Toivottavasti Fennovoima ei tavoittele uutta ennätystä, vaan palaa juurille.

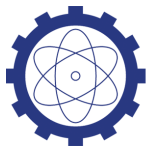
Loppuun vielä asiaton vitsi, jonka kuulin suomalaisen voimayhtiön toimitusjohtajalta firman pikkujouluissa: "Insinööri tulee pikkutunneilla ravintolakerrokselta kotitaloonsa, jossa vaimo odottaa ulko-ovella luuta kädessä! Mies kysyy rauhallisesti: 'Oletko siivoamassa vai lähdyssä yölenolle?'"



Presidentti Urho Kekkonen ja Neuvostoliiton pääministeri Aleksei Kosygin vihki Loviisan ydinvoimalan käyttöön painamalla nappia, joka kytki voimalan sähköverkkoon. (Kuva: Fortum)

Palautusosoite:

Suomen Atomiteknillinen Seura
PL 78
02151 ESPOO



ATS

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

KANNATUSJÄSENET

B+Tech Oy

**Pohjoismainen
Ydinvakuutuspooli**

**Teknologian
tutkimuskeskus VTT Oy**

Fennovoima Oy

Pohjolan Voima Oy

Teollisuuden Voima Oyj

FinNuclear ry

Posiva Oy

TVO Nuclear Services Oy

**Fortum Power
and Heat Oy**

Saanio & Riekkola Oy

Voimaosakeyhtiö SF Oy

Platom Oy

Siemens Osakeyhtiö

Wärtsilä Finland Oy