

ATS

4|2016

Vol. 45

YDINTEKNIikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

SYP2016

Tilaisuudesta saatiin laajasti positiivista palautetta.

Fennovoiman ydinjätehuolto

Paljon muutakin kuin käytetyn polttoaineen loppusijoittamista: ratkaistavana voimalaitosjätteen käsittely ja KPA-varaston konsepti.

ENS:n uusi visio ja strategia

Hyödyt eurooppalaisen ydinvoimayhteisön jäsenyydestä.

Ioninvaihtohartsien kiinteytys

Tero Lytsyn esitys menetelmän valinnasta palkittiin SYPin parhaana.



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@tem.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@tvo.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 yhdysiteenä jäsentensä kesken kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi sekä vaihtaa tietoja ja kokemuksia kansainvälisellä tasolla. ATS on Tieteellisten seurain valtuuskunnan jäsenseura.

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

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

Ydinenergia arvostuskuopassa

MEILLÄ OLI TAANNOIN KOULUTUS, joka liittyi työhyvinvointiin. Sieltä jäi mieleen neljä tekijää, joiden kautta asiaa kannattaa lähestyä. Ihminenhan ei voi täysin erottaa työminäänsä siviilipersoonastaan, joten työhyvinvoinninkin pohja rakennetaan jo kotona arjessa. Ensimmäinen tekijä tyytyväiseen ja onnelliseen työntekijään ja ihmiseen olikin työn ja vapaa-ajan tasapaino. Toisena nostettiin esiin työtehtävien sopiva haastavuus. Liian helppojen tehtävien äärellä ihminen turhautuu, mutta toisaalta liian raskas taakka kaataa kantajansa ennemmin tai myöhemmin. Kolmas tekijä oli sosiaalinen yhteisö. Tarvitsemme ympärillemme muita ihmisiä; meillä on tarve kuulua joukkoon. Neljäs, ja mielestäni tärkein asia, oli merkityksellisyys. Eli se, että koemme työllämme olevan vaikutusta ja että se on tarpeellista.

Jos tarkastelemme ydinvoima-alaa näiden

tekijöiden kautta, voimme ehkä tehdä havain- toja sen tilasta. Hallituksen energiastategias- sa ydinvoima jäi piiloon, samoin jopa VTT:n ja Fortumin juuri päivitettyissä strategioissa. Emme siis kuulu joukkoon. Samalla tämä antaa signaalin ydinvoiman merkityksellisyy- destä. Sen tarpeellisuutta tulevaisuudessa ei haluta tunnustaa julkisesti. Tässä ilmapiirissä nuorien ja pätevien alalla pitäminen on yhä haasteellisempää. Tarvitaan melkoisen hyvä itsetunto ja jopa tietyn tasoista ideologisuutta ja kutsumusta toimimaan asian parissa, jota muu yhteiskunta ei arvosta. Emme saisi vain jäädä ylläpitämään, meidän pitäisi mennä eteenpäin visioiden rohkeasti uutta.

Suomalaisen Ydintekniikan päivät päättyi paneeliin, jossa pohdittiin ydinvoiman tule- vaisuutta. Panelistit näkivät sen kirkkaana ja ennustivat alan jopa kasvavan. He kaikki oli- vat ulkomaisten yritysten palveluksessa. Esiin



nostettiin uudet reaktoriteknologiat ja ydinvoi- man hyödyntäminen uusissa sovelluskohteis- sa. Tähän panostaminen varmasti toisi alalle kaivattua uutta intoa. Mutta miten saisimme ihmiset näkemään alan mahdollisuudet?

Anna Nieminen

Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

Vakiopalstat

Päätoimittajalta:
Ydinenergia arvostuskuopassa 3

Pääkirjoitus: SYP2016:
saavuttiko pilottikokeilu tavoitteet? 4

Editorial: NST2016:
did the pilot fulfill expectations? 5

Pakina: Voisiko turvallisuuksien
kirjoa ymmärtää ja sen hallintaa
parantaa väriluokituksella? 35

Tapahtumat

Suomalaisen Ydintekniikan Päivät
– Nuclear Science and Technology
Symposium 6

Suomen Atomiteknillisen Seuran
50-vuotisjuhlat 8

VVER-aiheinen AER-symposio
järjestettiin Helsingissä 10

Ydinturvallisuustalo vihittiin käyttöön 12

Ajankohtaista

Rainer Salomaa – kymmenien
fyysikkoikäluokkien mentoriprofessori 14

Fennovoiman ydinjätehuollon
ajankohtaiset kuulumiset 18

ENS and its new vision and strategy
– and why ATS should be part of it? 20

Onko Olkiluodon kallioperä pysynyt
vakaana? Mikroiseismiset tutkimukset
osana ONKALOn monitorointiohjelmalla 22

Tiede ja tekniikka

BWR Fuel Design
Westinghouse TRITON11™ 24
Ulf Benjaminsson

Kysymys ioninvaihtohartsien kiinteytys-
menetelmän valinnasta muiden
ydinjätehuollon haasteiden varjossa 26
Tero Lytsy, Timo Siiskonen

Master's thesis:
Ex-Vessel Steam Explosion
Analysis with MC3D 30
Magnus Strandberg

Väitös:
Laadukkaampia reaktorifysiikan
epävarmuusarvioita 32
Risto Vanhanen

SYP2016: saavuttiko pilottikokeilu tavoitteet?

SUOMALAISEN YDINTEKNIIKAN PÄIVÄT eli SYP2016 pidettiin Marina Congress Centerissä Helsingissä 2.–3.11.2016. Lähes 200 osallistujalla oli mahdollisuus kuulla nelisenkymmentä esitystä ydintekniikan eri aihealueilta laidasta laitaan: fissiosta fuusioon, säteilyyn ja ydinjätteeseen. Aulatiloiissa oli lisäksi FinNuclearin organisoima expoalue, jossa oli 13 yrityksen aktiiviset esittelypisteet. SYP2016:n yhteydessä pidettiin myös Suomen Atomiteknillisen Seuran 50-vuotisjuhlaillallinen, missä julkistettiin seuran historiikki, sekä Studia Generalia -tyyppinen yleisötilaisuus.

SYP2016:n suunnittelu lähti liikkeelle kutsuun kuusi vuotta ennen tapahtumaa toukokuussa 2015. Työryhmän ensimmäisessä suunnittelukokouksessa pohdittiin symposiumin motivaatiota, sisältöä ja reunaehtoja. Kaiken perustana oli ATS:n uudistamisohjelma, jonka johtokunta oli hiljattain käynnistänyt.

ATS:n tavoitteena on olla johtava teknistieteellinen yhdistys Suomessa. Myös sen yhteiskunnallista näkyvyyttä halutaan nostaa, jotta yhdistys pysyy elinvoimaisena. Seminaarien ja symposiumien järjestäminen on tieteilisten seurojen normaalitoimintaa, ja ATS:n 50-vuotisjuhluvuosi 2016 haluttiin huipentaa aiempaa suuremmissa mittakaavoissa.

SYP2016:n perussuunnitelmaa lähdettiin toteuttamaan vaiheittaisen tarkennuksen periaatteella. Voidaan kuitenkin todeta, että pääpiirteet löytyivät lukkoon jo alusta pitäen: syksyllä 2016 pidettävä 1,5-päiväinen tapahtuma,

jonka elementteinä ovat monipuoliset puhe- sessiot, yritysexpo, yleisöluento ja vuosijuhla. Tavoitteeksi asetettiin 150 osallistujaa kumpainakin päivänä ja seuran kannalta ”plusmiinus nolla” -taloustulos sponsoritulojen ja kohtuullisten osallistumismaksujen avulla.

Nyt tapahtuman jälkeen voidaan todeta, että tavoiteltu osallistujamäärä ylitetiin 20%:lla ja taloudellinen tulos oli suunnitelman mukainen. Näillä perusmittareilla mitattuna pilotti siis onnistui mainiosti. Haluan myös todeta, että kaikki SYP2016:n esitykset olivat korkeatasoisia tai vielä parempia!

Studia Generalian osallistujamäärä jäi odotettua alhaisemmaksi noin 30:een, joista yli puolet oli ATS-jäsenistöä. Suurelle yleisölle mainostamisessa on siis selkeästi pohdittavaa ja kehittämisen varaa. Toisaalta SYP2016:een kohdistui odotuksia enemmän median huomiota – media siis vastasi heille lähettämämme kutsuun – ja tilaisuus sekä sen esiintyjät saivat odotuksia enemmän palstatilaa.

SYP2016-osallistujilta välittömästi saatu palaute oli valtaosaltaan positiivista. Kirjallisen palautteen kerääminen on tätä kirjoittaessa vasta alkamassa ja sen pohjalta saattaa tulla paljastua kehityskohteita. Symposiumin päätöspuheenvuorossa totesin, että SYP:lle on tilausta ainakin 50 vuoden välein, mutta ATS:n johtokunnalle jää pohdittavaksi onko syklin tiivistäminen mahdollista. Tässä johtokunta epäilemättä kuuntelee osallistujien ja sponsoriyritysten palautetta sillä kuuluisalla herällä korvalla.



Kokemuksen mukaan SYPin kaltaisen tapahtuman pystyy toteuttamaan talkoovoimin joka toinen vuosi. Toisaalta ATS:n johtokunnan sykli on kolme vuotta ja vuosijuhlien viisi vuotta, joten paras rytmitys ei ole päivänselvä. Olisiko epätavallinen 2,5 vuoden sykli paras vaihtoehto?

Haluan kiittää SYP2016:n onnistumista kaikkia esittäjiä, istuntojen puheenjohtajia, pääsponsoreita ja tukijoita, näytteilleasettajia ja luonnollisesti osallistujia, joita varten tämä tapahtuma toteutettiin! Kiitän myös Marina Congress Centeriä saumattomasti toimineesta infrastruktuurista. Muistutan myös, että tällaisia symposiumia ei voi järjestää ilman ahkeraa työryhmää, jonka kaikkia jäseniä kiitän panostuksesta SYP2016:n onnistumiseen.

Symposiumin toisena päivänä sattui Marinan alakerrassa olemaan Osuuspankin tilaisuus ja sen osallistujissa näkyi pientä hämmennystä, kun huomasivat opasteet yläkerran SYP-tilaisuuteen. Vanha kilpailija uudestaan hengissä? On tosin mahdollista, että hämmennys oli vilkkaan mielikuvituksen aikaansaannosta.

TkT Jarmo Ala-Heikkilä

SYP2016-työryhmän puheenjohtaja
Asiantuntija, ydintekniikka
Aalto-yliopisto, Teknillisen fysiikan laitos

NST2016: did the pilot fulfill expectations?

NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY Symposium, NST2016, was held at Marina Congress Center in Helsinki on November 2–3, 2016. Its 200 participants had an opportunity to listen to about forty presentations on various themes under the nuclear engineering umbrella: fission, fusion, radiation, nuclear waste. In the lobby we had an expo with actively visited stands of 13 companies, organized by FinNuclear. In connection with NST2016 the 50th anniversary dinner of Finnish Nuclear Society was enjoyed, celebrating also the release of FNS 50-year history review, and a Studia Generalia was given for the general public.

Planning of NST2016 was started about 18 months before the event in May 2015. In the first meeting of the organizing committee we contemplated the motivation, contents and boundary conditions for a symposium. A general foundation was given by the renewal program of FNS that its board had started recently.

The goal of FNS is to be the leading technical-scientific society in Finland. Also its societal impact needs to be increased in order to keep the society vital. Organizing seminars and symposiums belongs to normal activities of scientific societies, and we wished to have a higher-than-before climax for the 50th anniversary of FNS.

The basic plans of NST2016 were put into practice using the principle of gradual refinement. However, the main features were fixed

already in the first meeting: a 1.5-day event in autumn 2016 consisting of versatile presentation sessions, company expo, lectures for the general public and anniversary dinner. The goal was set at 150 participants on both days of the symposium and at a plus-minus-zero economical result for FNS, costs to be covered by reasonable sponsor and participant fees.

Now after the pilot event we can state that the participant goal was exceeded by 20% and the financial result was as planned. According to these key performance indicators the pilot was very successful. I also wish to emphasize that all presentations at NST2016 were high-level or even better!

Our lectures for the general public, Studia Generalia, were attended by fewer people than expected: about 30 people, half of whom were FNS members. We clearly have to reflect and develop advertisement towards the general public. On the other hand, there was more media attention towards NST2016 than expected. Media representatives responded to our invitation, and the event and especially its presenters were given exposure in many newspapers and magazines.

The direct feedback from NST2016 participants was largely positive. Collecting of written feedback is starting as of this writing and it may reveal some development issues. In the concluding remarks of the symposium, I stated that there is clearly a need for NST at least every 50 years, but the board of FNS may consider whether the cycle could be made

shorter. No doubt the board will listen to the feedback from participants and sponsor companies when making this decision.

On the basis of experience, it is possible to organize this kind of an event every second year. On the other hand, the cycle of the FNS board is three years and that of society anniversaries five years, so the optimum rhythm is not obvious. Maybe an unconventional 2.5-year cycle would be the best compromise?

NST2016 was a success. I would like to thank all presenters, session chairs, main sponsors and supporters, expo companies and naturally participants for whom the event was organized! I also acknowledge the seamlessly functional infrastructure of Marina Congress Center. Last but not least, this kind of a symposium cannot be organized without a hard-working organizing committee: I thank all members of the committee for their investment on the success of NST2016.

D.Sc. (Tech.) Jarmo Ala-Heikkilä

Chairman of NST2016 organizing committee
Senior Research Associate
Aalto University, Department
of Applied Physics

Suomalaisen Ydintekniikan Päivät – Nuclear Science and Technology Symposium

ATS:n viisikymmenvuotisjuhlan kunniaksi järjestettiin Suomalaisen Ydintekniikan Päivät (SYP2016) kaksipäiväisenä tapahtumana 2.–3. marraskuuta Helsingissä kongressikeskus Marinassa. Osallistujien määrä oli noin 190 koko tapahtumassa, jossa esitelmää pidettiin yhteensä 44 kpl. Päätösistuntoon oli kutsuttu viisi panelistia jakamaan ajatuksiaan ydinenergia-alan tulevaisuudesta. Lisäksi tilaisuudessa oli koko sen keston ajan näyttely, johon osallistui 13 yritystä. Tilaisuutta sponsoroivat voimayhtiöiden – Fennovoima, Fortum ja TVO – lisäksi TVONS ja Ringo Nordic.

Teksti: Liisa Heikinheimo

MUUTAMA POIMINTA tilaisuuden anista esitetään tässä yhteenvedon muodossa. Kaksi varsinaista artikkelia, jotka pohjautuvat SYP2016:n esityksiin ovat tämän lehden Tiede ja tekniikka -osiossa, joiden kautta voi tutustua tarkemmin mielenkiintoisiin uusiin aiheisiin ja todeta esitelmien tason. Kaikki tilaisuuden esitykset löytyvät ATS:n kotisivuilta sekä julkaisujen että esitysten muodossa (www.ats-fns.fi/fi/syp2016/proceedings).



TkT Liisa Heikinheimo
Tieteellinen päätoimittaja
ATS Ydintekniikka
liisa.heikinheimo@tem.fi

Laaja-alainen ohjelma

Avauspuheenvuoron esitti ylijohtaja Riku Huttunen Työ- ja elinkeinoministeriöstä. Puheenvuoro piti sisällään katsauksen sekä suomalaisen ydinenergian tuotannon kehitykseen 1960-luvulta nykypäivään että samanaikaiseen ATS:n historiaan, joka on jokaisella vuosikymmenellä ottanut oman roolinsa alan kehityksessä ja asiantuntijoiden keskustelu- sekä toimintafoorumina. Fennovoiman toimitusjohtaja Toni Hemminki kertoi Hanhikivi 1 -projektista, johtaja Tiina Tuomela Fortumin näkökulmasta tulevaisuuden energiantuotantoon ja toimitusjohtaja Jarmo Tanhua TVO:n tämän päivän toiminnasta Olkiluodossa.

Tiistain aikana pidettiin viisi teknistä istuntoa, joissa kussakin oli neljä esitystä. Iltapäivän teknisten sessioiden päätteeksi oli yhteinen istunto, jossa pienistä modulaarisista reaktoreista (Small Modular Reactors, SMR) kutsuttuna luennoitsijana esityksen piti Eugene Shwageraus, University of Cambridge UK, kokonaisturvallisuusajattelua avasi professori Juhani Hyvärinen Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta, ydinenergiamateriaalien tietees- tä - kiinteästä olomuodosta rakennemateriaaliksi - puhui professori Filip Tuomisto Aalto-yliopistosta ja fuusioenergian kehityksestä fissionenergian jalanjäljissä kertoi erikoistutkija Antti Hakola VTT Oy:stä.

Keskiviikon avausistunnossa kuulumme kotimaisten isojen ydinenergiaprojektien ajankohtaisista asioista. Johtaja Jouni Silvennoinen TVO:sta kertoi Olkiluoto 3 -yksikön käyttöönotosta, luvituspäällikkö Janne Liuko Fennovoimasta esitteli Hanhikivi 1 -projektin tilannetta, tiimipäällikkö Petri Kotiluoto kertoi ensimmäisestä suomalaisesta käytöstäpoistoprojektista Otaniemessä, FIR TRIGA Mark II -koereaktori, ja johtava asiantuntija Erkki Palonen esitteli Posivan käytetyn polttoaineen loppusijoitusprojektin etenemistä Olkiluodossa. Myös tekniset istunnot jatkuivat, keskiviikkona pidettiin yhteensä kolme istuntoa, joissa kussakin oli neljä esitystä.

Panelistit näkivät kasvumahdollisuuksia ydinenergia-alalla


Mielenkiintoinen keskustelu käytiin SYP2016:n päätösistunnossa aiheesta "Future of Nuclear Power – Boom or Bust". Paneelikeskustelun vetäjänä toimi Harri Tuomisto Fortumista. Panelisteina olivat Jens Conzen Fauske & Associates LLC, Kim Dahlbacka Westinghouse Electric Sweden, Stéphane Galopin, Bureau Veritas, Jukka Laaksonen, Rosatom Energy International sekä Eugene Shwageraus, University of Cambridge. Kaikki keskustelijat esittivät myös uusia mahdollisuuksia toimialalla, niin uusien reaktoriteknologioiden, reaktio-



Näyttelyalueen järjestämisestä vastasi FinNuclear Ry (kuva: Antti Paajanen).

riprojektien kuin polttoaineiden kehityksenkin nähtiin tuovan kasvua. Myös laitosten käytöstäpoiston ja jätehuollon toiminnot tulevat olemaan merkittävässä roolissa. Näiden kautta ydinenergia-alan ennakoitiin ennemminkin kasvavan kuin supistuvan.

Suomalaisen ydintekniikan päivien järjestäminen ATS:n toimihenkilöiden voimin oli kova tavoite. Kiinnostusta esitelmien pitoon tai osallistujien määrää ei voitu ennalta arvioida. Järjestämisen vaikeusastetta lisäsi se tosiasia, ettei kukaan järjestäjistä pystynyt irtottautumaan omasta arkityöstään tätä tehtävää varten. Tilaisuuden aikana saattoi todeta, että SYP2016 ylitti odotukset monella tavalla. Osallistujien määrä oli korkea, esitysten taso varsin hyvä ja paikalla kaikki tuntui toimivan sujuvasti. Järjestäjät ja avustajat kerkesivät aina tarpeen tullen hoitamaan tehtäviään ja tarjoamaan apua. Hienosti rakennettu FinNuclearin järjestämä näyttely, johon saattoi tutustua kahvitaukojen ja lounaan aikana, lisäsi varmasti keskustelumahdollisuuksia ja kontaktejakin.

Runsaat kiitokset tilaisuuden onnistumisesta jaettiin seuran juhlaillallisella virallisten kiitosten lisäksi monesta suusta. Toivottavasti saamme jatkoa tälle tapahtumalle. Kuinka usein symposiumi tullaan järjestämään, on varmaan tulevassa vuosikokouksessakin esillä. 



Jaakko Leppänen ojentaa kunniakirjan SYPin parhaasta esityksestä Tero Lytsylle (vasemmalla). Teron Lytsyn esitys käsitteli keskiaktiivisen jätteen käsittelyä. Paras esitys valittiin yleisöäänestyksellä ja esityksen pohjalta kirjoitettu artikkeli on tämän lehden Tiede ja tekniikka -osiossa (kuva: Tapani Raunio).

SYP2016-työryhmä

Jarmo Ala-Heikkilä, Aalto, puheenjohtaja
Jaakko Leppänen, VTT, tieteellinen pj.
Lauri Pyy, LUT, talousvastaava
Megumi Asano-Ulmonen, FinNuclear
Leena Jylhä, FinNuclear

Antti Paajanen, Fennovoima
Tapani Raunio, Fortum
Kai Salminen, Rosatom
Heikki Suikkanen, LUT
Pasi Tuohimaa, TVO



Suomen Atomiteknillisen Seuran 50-vuotisjuhlat

ATS:n 50-vuotisjuhlat järjestettiin Suomalaisen Ydintekniikan päivien yhteydessä Ravintola Sipulin Talvipuutarhasalissa keskiviikkona 2.11.2016. Paikalla juhlistamassa seuran 50-vuotista taivalta oli 152 henkilöä, joista osa oli myös konferenssiin osallistuneita seuran kuulumattomia henkilöitä.

Teksti: Antti Paajanen ja Henri Loukusa **Kuvat:** Henri Ormus



DI Antti Paajanen
Johtokunnan jäsen
ATS
antti.paajanen@fennovoima.fi



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

MATKA MARINA Congress Centeristä Uspenskin katedraalin kupeessa sijaitsevaan Ravintola Sipuliin on vain 600 metriä, mikä oli konferenssista kävellen paikalle saapuneille vieraille hyvä juttu, sillä kyseinen keskiviikko oli lumimyrskyineen ensimmäinen kunnan talvipäivä Helsingissä. Vieraiden selviytyttyä paikalle tilaisuus käynnistyi alkumaljoilla sekä seuran varapuheenjohtaja Tuomas Rantalan tervetuloitovotuksella.

Vuosijuhlissa palkittiin useita seuran jäseniä, vanhoista sihteereistä ja puheenjohtajista uusiin kunniajäseniin.

Puheenjohtajista palkittavina olivat Eija-Karita Puska (2009–2011) ja Liisa Heikinheimo (2012–2014), ja sihteereistä Silja Häkkinen (2010–2011) ja Anna Nieminen (2012–2014). Kullekin ojennettiin seuran viiri. Lisäksi johtokunta palkitsi SYP-työryhmän puheenjohtajan Jarmo Ala-Heikkilän ensimmäisten Ydintekniikan päivien erittäin onnistuneesta järjestämisestä.

Maaliskuussa pidetyssä seuran vuosikokouksessa uusia kunniajäseniä nimitettiin kolme: Anneli Nikula, Heikki Raumolin ja Rainer Salomaa (uudet kunniajäsenet on esitelty tarkemmin ATS Ydintekniikka numerossa 3/2016). Uusia kunniajäseniä juhlittiin perinteiden mukaan seuran toimesta vasta nyt ja kukin sai kunniajäsenyyden myötä seuran kunniajäsenen kunniakirjan sekä seuran viirin. Raumolin piti palkitsemisen päätteeksi uuden kunniajäsenen puheen koko porukan puolesta.

Vuonna 2016 vanha tiedonjulkistamis-
palkinto uudistettiin ja nimettiin Pekka Jauho-
palkinnoksi, ja johtokunta valitsi tehtyjen eh-
dotusten perusteella palkinnonsaajaksi Eero
Patrakan. Patrakka piti myös vuosijuhlan
juhlalpuheen, jossa muisteltiin ydintekniikan
50-vuotista taivalta Suomessa. Puheessa esi-
teltiin kattavasti kuluneiden vuosikymmenien
aikana alaan vaikuttaneet eri trendit, projek-
tit, tapahtumat ja ihmiset. Puheen päätteeksi
Patrakka julkisti myös seuran vastavalmistu-
neen historiikin *Ydin yhdistää*, mikä jaettiin
kaikille vuosijuhliin osallistuneille kotiin vie-
misiksi.

Illan musiikkipuolesta vastasi Ylioppilas-
kunnan Laulajat tuplakvartettikokoonpanossa.
Heiltä kuultiin upea ja monipuolinen kattaus,



johon kuului serenadeja, tunnettuja kotimai-
sia kappaleita sekä loppuhuipennuksena
Sibeliuksen Finlandia.

Seura sai myös tervehdyksen Venäjän
ydintekniseltä seuralta, jonka suomeksi seu-
ralle oli kääntänyt Vasili Kalinin. Tervehdyksen
luki juhlavieraille Ilkka Mikkola. Vapaa sana
-osio kirvoitti myös muutamia seuran jäseniä
kertomaan muistojaan seuran toiminnan var-
relta.

Vuosijuhla päättyi hieman ennen puol-
tayıötä mutta joissakin pöytäseurueissa kes-
kustelut tuntuivat lähtevän kunnolla vauhtiin
vasta narikkajonossa. Osa juhlijoista siirtyikin
vielä jatkamaan näitä keskusteluja Helsingin
yöhön. ☸



AER-symposion osallistajat suuntasivat laboratorikierrokselle, kun VTT:n uusi ydinturvallisuustutkimusalueen johtaja Satu Helynen oli toivottanut heidät tervetulleeksi Ydinturvallisuustaloon.



VVER-aiheinen AER-symposio järjestettiin Helsingissä

Fennovoima, Fortum ja VTT isännöivät lokakuun puolivälissä Helsingissä järjestettyä AER-symposiota. Vuosittain pidettävä lähes sadan osallistujan symposio kokoaa yhteen VVER-reaktoreiden reaktorifysiikan ja -turvallisuuden parissa työskenteleviä tutkijoita ja insinöörejä.



DI Tuukka Lahtinen
Pääsuunnittelija
Fortum
tuukka.lahtinen@fortum.com

Teksti: Tuukka Lahtinen **Kuva:** Anna Nieminen

AER (ATOMIC ENERGY RESEARCH) on VVER-reaktoreiden parissa työskentelevien organisaatioiden muodostama tieteellinen yhteisö, joka on keskittynyt erityisesti VVER:ien reaktorifysiikkaan ja -turvallisuuteen. Yhteisössä on jäseninä pääasiassa tutkimuslaitoksia, yliopistoja ja voimayhtiöitä. Lähes kolmenkymmenen jäsenorganisaation joukosta löytyy myös polttoainetoimittaja sekä

jokunen insinööritoimisto ja komponenttivalmistaja. Vaikka muodollisesti AER:n jäsenenä on organisaatioita, tuntuu ehkä luonnollisemmalta ajatella, että AER-yhteisön muodostavat sen eri toimintamuotoihin osallistuvat ihmiset.

AER:n toiminta

AER:n tärkeimmät toimintamuodot ovat työryhmätapaamiset sekä vuosittainen symposio. Yhteisöllä on kuusi omalle aihealueelleen omistautunutta työryhmää. Näitä aihealueita

ovat esimerkiksi homogeenisoitujen ryhmäva-
kioiden laskenta, lataussuunnittelu, reaktori-
sydämen käytönaikainen valvonta, turvalli-
suusanalyysit sekä laitosten käytöstäpoisto ja
polttoaineen loppusijoitus. Kullakin työryhmäl-
lä on puheenjohtaja, joka isännöi normaalisti
loppukevällä pidettävää työryhmäkokousta.

Symposio järjestetään syksyisin ja sen jär-
jestämisvuoro kiertää kuuden-seitsemän vuo-
den syklistä maasta toiseen. Symposiossa on
tyypillisesti 70–100 osallistujaa ja siellä esitel-
lään kattavasti yhteisön piirissä tehtyä työtä.
Symposiossa työryhmien puheenjohtajat myös
kertovat tiivistetysti työryhmänsä aikaansa-
noksista viimeisen vuoden aikana.

Työryhmätoiminnan ja symposion lisäk-
si eräs AER:n toimintamuoto ovat lasken-
ta-benchmarkit. Näihin osallistuminen mah-
dollistaa ohjelmien vertailun ja kehittämisen.
Yhteisessä tietokannassa on tällä hetkellä
reilusti toistakymmentä joko VVER-440- tai
VVER-1000-sydämen laskentaan liittyvää ben-
chmark-spesifikaatiota. Spesifikaatiot sisältä-
vät kunkin benchmarkin täsmälliset ja kattavat
input-tiedot sekä osittain myös dokumentaati-
on benchmarkiin osallistuneiden organisaati-
oiden toimittamista laskentatuloksista.

AER:llä on myös tieteellinen neuvosto, joka
kokoontuu Budapestissä aina vuoden lopulla.
Tieteellisen neuvoston kokouksissa esimerkiksi
kerrotaan maakohtaisesti ajankohtaisia ydin-
voima-alan kuulumisia sekä valtuutetaan joku
organisaatio vastuulliseksi seuraavan vuoden
symposion järjestelyistä.

Vuoden 2016 symposion järjestäminen

Edellisen kerran AER-symposio järjestettiin
Suomessa, Espoon Hanasaaressa, vuon-
na 2010. Järjestelyiden päävastuu oli silloin
VTT:llä, joten oli luonnollista, että Fortum
toimisi tällä kertaa päävastuullisena järjes-
täjänä. Aiemman käytännön mukaisesti kui-
tenkin myös muut suomalaiset alan toimi-
jat osallistuivat järjestelyihin. Fortum vastasi
muun muassa tilan valinnasta, erilaisten kut-
sujen lähettämisestä ja tieteellisen ohjelman
organisoinnista. VTT lupautui vastaamaan
torstai-iltapäivän sosiaalisesta ohjelmasta ja
Fennovoima torstain juhlaillallisen isännöim-
isestä.

Taloudellisten reunaehtojen mahdollista-
missa rajoissa pyrittiin löytämään symposion
järjestämispaikaksi riittävän kokous- ja majoi-

tuspalveluin varustettu tila, jossa vieraiden
voitaisiin kuvitella viihtyvän. Perusteellisen
tarjouskilpailun jälkeen paikaksi valikoitui
Helsingin Kaisaniemessä sijaitseva Hotelli
Arthur ja ajankohdaksi 10.–14.10.2016.

Fortumin kolmihenken reaktorifysiik-
karyhmän vastuulla olevat järjestelytyöt ja-
kautuivat pitkälle, noin vuoden mittaisel-
le ajanjaksolle, joten työkuorma ei missään
vaiheessa noussut kohtuuttoman suureksi.
Ilmoittautumisen ja abstraktien lähettämisen
deadline lähestyessä oli ilahduttavaa nähdä,
kuinka rekisteröitymisä alkoi tipahdella kiih-
tyvään tahtiin. Määräajan tultua täyteen hu-
omasimme, että symposiosta olisi tulossa jopa
keskimääräistä suurempi rekisteröityneiden
osallistujien määrän ollessa lähes sata hen-
keä. Helsinki järjestämispaikkana siis selvästi
kiinnosti ihmisiä.

Symposio-viikon ohjelmaa

Symposion avausseesioon saimme arvo-
valtaisia puhujia: Tiina Tuomela (Executive
Vice President) Fortumista, Vesa Ruuska
(Nuclear Safety Director) Fennovoimasta ja
Tomi Routamo (Deputy Director) STUKista.
Tuomela, Ruuska ja Routamo kertoivat mm.
ajankohtaisia kuulumisia ydinvoima-alan tilan-
teesta ja Suomessa meneillään olevista ydin-
laitoshankkeista sekä toivottivat vieraat terve-
tulleiksi symposioon.

Noin tunnin mittaisen avausseesin jälkeen
siirryttiin tieteellisen ohjelmaan. Tieteellisiä esi-
tyksiä olikin poikkeuksellisen paljon, lähes 80.
Ohjelma jakautui yhdeksään aihealueeseen,
jotka oli aikataulutettu viikon varrelle niin, että
jokainen alue pyrittiin käymään läpi kokonai-
suutena mielellään yhden tai kahden päivän
aikana. Tieteellisen ohjelman aihealueina oli-
vat:

- Transport-laskennan ja 3D-sydän-
mallinnuksen menetelmät
- Reaktorifysiikaaliset kokeet ja laskenta-
koodien validointi
- Polttoaineen hallinta (latausten ja poltto-
ainesyklien suunnittelu)
- Reaktorin käytönaikainen valvonta
- Reaktoridynamiikka ja turvallisuusana-
lyysit
- Laskennallisen virtausdynamiikan ydin-
tekniset sovellukset
- Polttoaineen mekaanisen käyttäytymisen
mallinnus

- Käytetyn polttoaineen väliavarastointi ja
laitosten käytöstäpoisto
- Käytetyn polttoaineen loppusijoitus ja ak-
tinidien transmutointi

Symposiossa pidettiin useita erinomaisia esi-
tyksiä. Tässä yhteydessä on kuitenkin yksittäi-
siä esityksiä esille nostamatta todettava vain
lyhyesti symposion tieteellisen annin olleen
hyvin monipuolinen. Tieteellistä sisältöä lisäsi
vielä entisestään VTT:n Serpent-kehitystiimin
järjestämä puolipäiväinen Serpent-aiheinen
workshop, joka rinnakkaisessiona järjestä-
misestä huolimatta keräsi runsaasti kiinnos-
tuneita kuulijoita.


Muita symposioviikon tärkeitä tapahtumia
olivat Helsingin kaupungin vastaanotto sekä
tietysti torstain sosiaalinen ohjelma ja juh-
laillallinen. Kaupungin vastaanotto pidettiin
Vanhalla Raatihuoneella, jossa kaupungin
sihteeri Annikki Thodén piti ansiokkaan pu-
heen kertoen kaupungin historiasta, nykytilas-
ta ja tulevaisuuden suunnitelmista. Puheen
jälkeen nautimme maistuvan salaattibuffetin
antimista.

Torstaina pääsimme tutustumaan VTT:n
uutteen ydinturvallisuustaloon sekä niin
ikään Otaniemessä sijaitseviin maanalaisiin
tutkimustiloihin. Torstain ohjelman kruunasi
Fennovoiman Ravintola Haikaranpesässä tar-
joama juhlaillallinen.

AER säilyy elinvoimaisena yhteisönä

Helsingissä järjestetty kokoontuminen oli jär-
jestyksessään jo 26. AER-symposio. AER:llä
yhteisönä on mielestäni tieteellisen työn
edistämisen lisäksi useita muitakin hyvin
toimivia funktioita: kontaktien luominen ja
ylläpito, laskentamenetelmien ja ohjelmien
kehityksen seuranta ja mahdollistaminen
sekä esimerkiksi erilaisiin käyttökokeuksiin,
havaintoihin ja turvallisuusasioihin liit-
tyvä tiedonvaihto.

AER-toiminta on samaan aikaan sekä riittä-
vän laajaa kattaen useita toisistaan poikkeavia
substanssialueita että sopivasti rajattua keskit-
tyen vain VVER-tyyppisiin reaktoreihin. Uskon,
että näiden vahvuuksien ansiosta AER säilyy
jatkossakin elinvoimaisena yhteisönä.

AER:stä tarkemmin kiinnostuneet lukijat
löytävät lisätietoja web-sivulta www.aer-web.com. Sivustolta on löydettävissä myös paljon
materiaalia sekä tämän että aikaisempien vuo-
sien symposioista. 



Ydinturvallisuustalo vihittiin käyttöön

VTT:n ydinturvallisuustalon vihkiäiset järjestettiin 20.9.2016. Kutsuvierastilaisuudessa paitsi korostettiin ydinteknologian roolia suomalaisena menestystarinana, myös pohdittiin keinoja tämän aseman säilyttämiseen.

Teksti: Anna Nieminen ja Ville Tulkki **Kuvat:** VTT



DI Anna Nieminen

Tutkija

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
anna.nieminen@vtt.fi



TKT Ville Tulkki

Erikoistutkija

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
ville.tulkki@vtt.fi

TILAISUUDEN AVASI VTT:n toimitusjohtaja Antti Vasara, joka kiteytti Ydinturvallisuustalon merkityksen seuraavasti: ”Ydinvoimalla ja sen turvallisella käytöllä on merkittävä rooli maailmassa, jossa arvostetaan ympäristön ja ilmastonmuutoksen kannalta tasaista hiilivapaata sähköntuotantoa, turvallista energiantuotantoa ja vastuullista toimintaa. Sen takana tulee olla tutkimusta, asiantuntemusta, osaamista ja vastuullisuutta. VTT:n ydinturvallisuustalo toteuttaa juuri näitä tavoitteita.”

Myös Säteilyturvakeskuksen pääjohtaja Petteri Tiippana korosti esityksessään, että ydinen energian käytön ehdoton edellytys on turvallisuus ja että tutkimuksen merkitys turvalli-

Nauhan leikkasivat Elinkeinoministeri Olli Rehn, Espoon kaupunginjohtaja Jukka Mäkelä ja VTT:n toimitusjohtaja Antti Vasara.

suuden varmistamiselle on olennainen. Meillä täytyy kansallisesti olla valmiudet tuottaa tuloja, työkaluja ja osaamista proaktiivisesti pitkälle tulevaisuuteen. Tutkimuksen kautta tulisi varmistaa, että olemme varautuneita uusiin uhkisiin.

Ydinturvallisuustutkimuksen tulevaisuus

Sekä toimitusjohtaja Vasara että talohankkeen aikana ydinturvallisuustutkimusalueen johtajana toiminut Timo Vanttola korostivat puheissaan, että energia-alalla ja erityisesti ydinvoiman piirissä tarvitaan pitkäjänteistä tavoitteellista sitoutumista. Tutkimuksessa olisi varattava riittävästi resursseja osaamisen siirtoon ja esimerkiksi tiettyjen laskentakoodien uudelleenkirjoitukseen ja uudistamiseen nykytiedon tasolle. Mallinnuksen kehitys on nopeaa, eikä kytkentää kokeelliseen pohjaan saa Vanttolan mukaan unohtaa.

”Energia-ala muuttuu jatkuvasti. Öljyn hintaheilahtelujen kautta olemme viime vuosina nähneet erityistä epävarmuutta markkinoilla, jolloin suunnanmuutokset voivat olla nopeita.” Vanttolan mukana tämä Vasaran kuvaama energiamarkkinoiden myllerrys haastaa ydinvoimaa ja saattaa jossakin vaiheessa johtaa esimerkiksi jatkuvampaan kuormanseurantaan.

Myös potentiaaliset uudet teknologiat nousivat esiin Vanttolan tulevaisuuden skenaarioissa. Vaikka kiinnostus Gen4:n reaktoreihin ja suljetun polttoainekierron ratkaisuihin on Suomessa vähentynyt, kannattaisi aihetta seurata ainakin akateemisessa tutkimuksessa. Myös pienet modulaariset reaktorit tarjoavat uutta tutkittavaa niiden passiivisten piirteiden, materiaalivalintojen ja rakenteiden sekä järjestelmän yksinkertaistamisen suhteen.

Ministeri Rehn puhui ydinvoimasta välivaiheena kohti uusiutuvia energiamuotoja

Hieman yllättäen valtiovallan tervehdyksessä elinkeinoministeri Olli Rehn korosti energiajärjestelmässä ydinvoiman roolia välivaiheena kohti uusiutuvia energiantuotantomuotoja. Näkökannan pohjana varmaan oli TEMissä valmisteltu skenaario, jonka mukaan Suomi tuottaisi vuonna 2050 kaiken energiansa uusiutuvista, hiilineutraaleista lähteistä.


Ministeri Rehn kuitenkin korosti, että ydinturvallisuustutkimus on arvokasta ja sillä varmistetaan suomalainen huippuosaaminen alalla. Hän myös toi esiin kansallisen yhteistyön merkityksen mainitsemalla, että sen kautta lisäämme uskottavuuttamme ja voimme tarjota vahvempia kokonaisuuksia.

Paneelikeskustelun teemana Suomi ydinteknologian edelläkävijänä – miten asema säilytetään?

Paneelikeskustelussa keskusteltiin nykyisten ydinlaitosten näkymistä, loppusijoitusosaimisen kansainvälisistä mahdollisuuksista ja suomalaisen ydinvoiman tulevaisuudesta. Paneeliin osallistuivat Fortumin Generation-divisioonan johtaja Tiina Tuomela, TVO:n toimitusjohtaja Jarmo Tanhua, Fennovoiman toimitusjohtaja Toni Hemminki, Posivan toimitusjohtaja Janne Mokka ja Teknologiateollisuuden toimitusjohtaja Jorma Turunen. Suomalainen toimintaympäristö nostettiin tärkeäksi ydinvoimaosaamisen mahdollistajaksi, sillä pitkäjänteinen poliit-

inen sitoutuminen ydinvoiman käyttöön on mahdollistanut alan suunnitelmallisen kehittämisen.

Ydinteknologia kehittyy nyt huomattavaa vauhtia vastaamaan muuttuvan toimintaympäristön haasteisiin. Tuomela nosti esiin pienet modulaariset reaktorit mahdollisena vastauksena vaihtelevatuottoisten uusiutuvien dominoivan verkon vaatimuksiin. Loppusijoituksessa puolestaan on suuri markkina toimiville ratkaisuille, Mokka totesikin että Suomen ydinjäte edustaa alle prosenttia maailman ydinjätteestä ja senkin huolehtimiseen on varattu miljardeja euroja.

Panelistit pitivät suomalaisen ydinvoima-alan tulevaisuutta valoisana ja lähes yhtenä rintamana arvelivat uuden Ydinturvallisuustalon palvelevan suomalaisia ydinturvallisuutta ainakin puolen vuosiosadan ajan. Eriävän mielipiteen esitti vain Turunen, joka arveli teknologian kehittyvän niin nopeasti, että muutaman vuosikymmenen päästä voi Suomessa olla tilausta vielä uudemmalle ja ylväämmälle kokeelliselle tutkimusinfrastruktuurille. 



Paneelikeskusteluun osallistuivat Fortumin Generation-divisioonan johtaja Tiina Tuomela, TVO:n toimitusjohtaja Jarmo Tanhua, Fennovoiman toimitusjohtaja Toni Hemminki, Posivan toimitusjohtaja Janne Mokka ja Teknologiateollisuuden toimitusjohtaja Jorma Turunen. Paneelikeskustelun moderaattorina toimi VTT:n erikoistutkija Ville Tulkki.



Karonkkamatkalla huhtikuussa 2013. Vasemmalta työn ohjaaja Dos. Jukka Heikkinen (VTT), valvoja prof. Rainer Salomaa ja vastaväittäjä prof. Laurent Villard (EPFL, Lausanne). Varsinainen työn sankari, TkL Salomon Janhunen (väit.) joutui kuvaustehtäviin.

Kylässä kyselemässä Rainer Salomaa – kymmenien fyysikko- ikäluokkien mentori- professori



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

Olen tullut vanhaan tuttuun opinahjooni haastattelemaan ATS:n uudeksi kunniajäseneksi kutsuttua Aalto-yliopiston ydintekniikan emeritusprofessori Rainer Salomaata. Lokakuun alkua 2016 käydään. Aiomme ensin käydä läpi Rainerin kokonaistyöuraa ja keskittyä sitten opetuksen ja koulutuksen asioihin. Entinen TKK:n päärakennus on nykyisin nimeltään Aalto-yliopiston kandidaattikeskus, mikä näkyy hyvin myös pääaulan jo jopa naisvaltaisessa opiskelijavilinjässä. Ei muuta kuin kahvit eteen ja haastatteluun.

Kirjoittaja: Klaus Kilpi **Kuvat:** Rainer Salomaa

Suomen Turuust'...

Mennään tuonne lapsuutesi ja nuoruutesi aikaan. Mistä päin olet, siitä on hyvä aloittaa?

"Mää ole vanha turkulaine. Ole vieläki henkisest turkulaine ja periaattees teps on hyvä jääkiakkojoukkue, vaik ei se kummostetika ol viime aikoina pärjäny. Ja kiält ossaan vieläki jotenkute puhuu niinkus kuuluu." Turussa synnyin ja kouluni kävin Turun Norssissa.

...Otaniemeen – opiskelemaan ja tutkijan töihin

Ylioppilaaksi tultuani tuli hinku päästä pois kotoa ja aloitin vuonna 1966 opiskeluni Otaniemessä. Insinööriopinnot olivat siihen aikaan arvostettuja ja Polille oli vaikea päästäkin. Alan arvostus näyttäisi tässä ajassa olevan hiukan pienempää, ainakin siitä päätellen, että alalle opiskelemaan pääsy on aiempaa selvästi helpompaa. Opiskelemaan tultuani sitten jotenkin jämähdin Espoon alueelle, se oli myös sellainen itsenäistymisprosessi.

Oman opiskeluaihepiirini sisältöön ja urakehitykseeni edesmennyt akateemikko Pekka Jauho vaikutti taustalla hyvinkin voimakkaasti. Hänellä oli aina runsaasti ideoita – monien muiden muassa lasereista ja fuusioenergiasta. Siihen aikaan 70-luvun puolissa välin Suomessa näistä aloista ei vielä kovin paljon tiedettykään. USA:sta tutkijavierailultaan oli vastikään palannut professori Stig Stenholm, josta tuli laserfysiikan oppi-isäni Helsingin yliopiston teoreettisen fysiikan laitoksella. Stenholm myös ohjasi vuonna 1971 valmistuneen diplomityöni ja lisensiaattityöni sekä väitöskirjani. Väittelin asevelvollisuutta suorittaessani vuonna 1974. Köyhä kun olin ja vähän nuukakin, niin väittelin armeijan harmaisa, säästyin frakin vuokralta. Sain tosi hyvin istuvat juhlaharmaat.

Aloitimme fuusiotutkimuksen Jauhon vetämässä ydintekniikan tutkijaryhmässä VTT:llä. Tuossa tutkijaryhmässä sulauduimme vähitellen ydinvoimatekniikkaan ja edelleen VTT:n Ydinvoimatekniikan laboratorioon, joka tuolloin toimi VTT:n silloisessa pääarakennuksessa Hietalahdentorin laidalla. Siellä olin jonkin aikaa, kunnes siirryin Otaniemeen Ekonon taloon Tekniikantielle ja sieltä sitten pikkuhiljaa TKK:n leipiin.

Opettajan uralle Teknilliseen korkeakouluun

Entä milloin lähdit VTT:ltä TKK:hon?

VTT lähetti minut vuonna 1981 New Yorkiin. Sinne sain professori Jorma Routtilta kirjeen, että Otaniemessä on apulaisprofes-

sorin paikka haettava. Liemmin miettimättä päätin hakea paikkaa ja satuin sen saamaan. Siinä vaiheessa Routti oli jo siirtynyt Sitraan ja jouduin viransijaisena vuodesta 1985 lähtien hoitamaan hänen oppituoliaan. Sitten Routti lähti EU:hun ja erosi hie- man aiemmin virastaan. Tuli taas haku, silloin täysprofessorista. Siinäkin pääsin ykkössijalle ja sain täyden professuurin vuonna 1993. TKK:n palkkalistoilla olin vuoteen 2010 saakka, minkä jälkeen meistä tuli Aalto-yliopisto. Sieltä jäin eläkkeelle vuonna 2014, joten ehdin Aallossakin toimia muutama vuoden.

Oppilasaines ennen ja nyt

Miten kuvaisit muutosta TKK:ssa ja insinööriopinnoissa? Aika on eri ja paljon on tietysti muuttunut. On väitetty, että insinööriopiskelija-aines ei ole enää niin hyvää kuin joskus sukupolvi sitten. Pitääkö paikkansa?

Opiskelija-aines on erilaista kuin ennen. Nuorisoa on vähemmän, ikäluokat pienemmät. Matematiikasta, fysiikasta ja yleensä luonnontieteistä kiinnostuneita on suhteellisen vähän verrattuna aikaisempaan. Monelle pitkä matematiikka ja erityisesti pitkä fysiikka ovat työläitä, ilmeisesti muilla aloilla opiskelu houkuttaa enemmän. Toisaalta ajattelen, että kyllähän laista ja lääkiksestä kiinnostuneet ihmisetkin joutuvat lukemaan ihan jumalatomasti, ei niilläkään helppoa ole. Töitä pitää kaikkien tehdä. Monelle siinä vaiheessa näyttää olevan helpompaa mennä opiskelemaan ei-luonnontieteellisiä aineita. Huomatakseen sitten, että sillä puolella on kamala kilpailu.

Opiskelijat eivät osaa matematiikkaa samalla lailla kuin mitä meikäläiset joskus aikanaan. Toisaalta täytyy kuitenkin muistaa, että he osaavat kieltä ja heillä on tietty kansainvälinen kokemus jo olemassa. He osaavat muita asioita. Jossain päämme sisällä täytyy mielestäni kuitenkin olla – siitä huolimatta, että opiskelijoiden matematiikan osaamisen taso on alentunut – jonkun näköinen käyttöjärjestelmä, matemaattinen ajattelutapa. Sellainen, jossa on logiikka mukana ja tietyt säännölliset



Puheenjohtajan roolissa FFUSION2 -teknologiaohjelman päätösseminaarissa Dipolissa 3.2.2003.

lainalaisuudet. Yhteiskuntatieteissä käytännöt ovat paljon sekavampia, ei aina oikein tiedä miten ottaa ”pallosta kiinni”.

Opetuksen sisältö muutoksessa

Kun olet yli 30 vuotta ollut professorina, niin ovatko luennot muuttuneet kuulijoita enemmän osallistaviksi. Meidän opiskeluaikoinammehan yksi puhui ja me muut istuimme ja kuuntelimme.

Sitähän se oli siihen aikaan. Mutta vieläkin liitutaulu on toimiva, kun jotain hankalaa asiaa selittää. Liitutaulun etu on, että asioitten opetusvauhti on sopiva. Siihen verrattuna suuren määrän kuvia käsittävät power point -esitykset ovat varsinaista tiedon kaatamista päähän, kuulija ei pysty sisäistämään saamaansa tietoa.

Tottahan kuulijakunnan pitää pystyä pysymään mukana. Eikö se tapahdu parhaiten, jos kuulijoita keskusteluttaa?

On eri tyyppisiä opettajia. Voin ihan rehellisesti sanoa, etten ole koskaan ollut erityisen hyvä perinteisenä opettajana ja luennoitsijana. Parhaiten olen uskoakseni pystynyt opettamaan kahdenkeskisissä keskusteluissa. Käydään juttua läpi, minä selitän ja toinen kyselee. Stig Stenholmin kanssa opin, kuinka esittää järkevällä tavalla ohjaajalleen ratkaistavanaan olevaa ongelmaa, kun toivoo ja odottaa tältä vinkkejä ja vastauksia. Kun itse pystyy järkevasti ja ymmärrettävästi tekemään kysymyksen, puolet asiasta on jo ratkottu. Ohjaajalla on edellytykset ymmärtää kysymys ja hän voi vastata siihen. Asian ratkaisussa päästään eteenpäin.

Opetuksen ja luentojen käytännöt ovat vuosien saatossa muuttuneet. Ei ole enää kovin

Teknillisen fysiikan ydintekniikan hyvin palvellut analogiasimulaattori käytöstä poistettavana. Vasemmalla laboratorioinsinööri Pertti Aarnio. Kuva ATS:n juhlanumerossa 3/1996.



paljon isoja erikoiskursseja vaan aika paljon tutorointia ja mentorointia. Toki Aallossa on massakurssejakin, esimerkiksi erityisen suosittu professori Esa Saarisen kurssit. Hänessä on tähtiesiintyjän ominaisuuksia ja karismaa, luonnonlahjakkuus joka pystyy saamaan kuulijakunnan haltuunsa. On myös isoiksi kursseiksi ja luennoiksi sopivia aiheita, esimerkiksi Aivoaakkoset-luentosarja, jossa kerrottiin aivotutkimuksen perusasioista. Siinä oli yllättävän paljon kuulijoita, aihe oli kiinnostava ja puhujat hyviä. Oma käsitykseni kuitenkin on, että opetus menee entistä enemmän mestari-kisällityyppistä opetusta kohti.

Vuorovaikutuksellista mestari-kisälliopetusta

Ja opetushan on silloin luonnollisestikin vuorovaikutuksellista. Viime kesänä Anneli Nikulaa haastatellessani Anneli kiteytti, että tiedotus on yksipuolista ja viestintä vuorovaikutuksellista. Sama kai se on opetuksessa ja koulutuksessaakin?

Opetuksessa vuorovaikutuksellinen ”viestintä” tosiaan vaatii paljon resursseja, mentoimitavien oppilaiden määrä on väistämättä rajallinen. Meille teknilliseen fysiikkaan tulee vuosittain vajaat 50 opiskelijaa. Professoreita on jotain 30, jos myös matematiikan professorit lasketaan mukaan. Siitä tulee noin kaksi opiskelijaa vuosikursssia ja opettajaa kohti. Mestari-kisällikäytännön mukaisessa opiskeluvaiheessa opiskelijat ovat suunnilleen kolme vuotta, joten jäädään kuitenkin alle kymmeneen opiskelijaan per professori. Jostain tuollaisesta opiskelijamäärästä suurin piirtein selviydymme.

Olet urasi aikana ohjannut lukuisia diplomija lisensiaattitöitä ja tohtorin väitöskirjoja. Kuinka monta suunnilleen? Nuo ohjaukset ovat luonnollisestikin olleet hyvin tärkeitä ohjattaville, mutta varmaan sitä myös sinulle ohjaajana. Kertoisitko millä lailla?

Muutaman kymmenen prosentin tarkkuudella olen ohjannut/valvonut lähes 200 diplomityötä, noin 30 lisensiaatin työtä ja noin 60 väitöstyötä. Meillä teknillisessä fysiikassa on aina ollut tavoitteena väitöskirja ja lisensiaatin työ on vain välietappi etenkin pitkään jatko-opiskelleilla. Näissä luvuissa on tärkeää ymmärtää, että vain osassa töistä olen ollut aktiivisesti mukana kaikissa niiden vaiheissa. Tavallisempaa on ollut, että olen valvojan roolissani yrittänyt pitää huolta työn etenemisestä ja loppuvaiheessa sen formaalista laadusta. Kaikissa opinnäytehankkeissa olen toki ollut aina käytettävissä. Opiskelijani ovat kuitenkin olleet hyvin lahjakkaita ja motivoituneita sekä heillä on ollut pätevää ohjausta, mikä on helpottanut minun työtäni merkittävästi.

Olet varmaankin kuullut opiskelijoiltasi hyviä ideoita ja tietoa ajankohtaisista ja tulevista tieteen kysymyksistä. Miten paljon olet voinut hyödyntää niitä laatiessasi strategia-suunnitelmia ja tavoitteita professorin roolissasi?

Alkuaikoina, kun itsekin olin aktiivinen tutkija, vuorovaikutus etenkin jatko-opiskelijoitteni ja itseni välillä oli hyvin samanlainen: molemmat kontribuivat tasapäisesti työhön ja kummallakin oli oma eksperttinsä. Etenkin lasertekniikassa jatko-opiskelijoitteni osaminen liittyen koetointiaan oli hyvin merkittävää. Fuusioenergiatutkimuksessa koko joukkue opetteli plasma- ja fuusiofysiikan saloja, sillä kumpikin näistä tutkimusaloista oli 80–90-luvuilla Suomessa vielä lapsen kengissä. Karkeasti ottaen väitöskirjatutkija on valmis väittelemään, kun hän alkaa väittää valvojaansa vastaan ja valvoja oppii huomaamaan, ettei enää kaikkia yksityiskohtia tiedäkään.

Ydintekniikan opinnoista useimmat on toteutettu VTT:llä ja voimayhtiöissä ja näihin töihin perehtyminen on minua kouluttanut alalle ”yleistietoiseksi”. Iän myötä tällainen oppiminen on tuottanut kohtuullisen hyvän yleisnä-

kemyksen ja aika usein asioiden priorisointikyvyinkin. Huomattavaa on, että sekä fissio että fuusio ovat samaa sukuhaaraa ja niiden ongelmakenttä samanlainen – näiden alueiden synergian tajuaminen on ollut eräs tärkeimpiä saamiani opetuksia.

Monen opiskelijan vaiheiden seuraaminen on opettanut havaitsemaan myös tutkijahenkisten opiskelijoiden sielunelämää. Inhimilliset tekijät ovat tulleet entistä tärkeämmiksi nykytekniikassa. Toiminta on nopeasti kansainvälistynyt: vuosikymmenien aikana on ollut hyvä huomata maailmalla, että ”ei olla sen kummempia kuin muutkaan, mutta kyllä silti pärjätään” – Erkki Laurilaa vapaasti lainaten.

Opetuksen hallinto ja talous – ennen ja nyt

Olen eri tahoilta lukemastani saanut käsityksen, että yliopistojen ja korkeakoulujen hallinnon ja toiminnan järjestämisessä olisi turhan paljon löysää. Entä keskitytäänkö liikaa seinien ja puitteiden maksamiseen opetuksen sisällön kustannuksella? Mitä noista asioista osaisit sanoa?

Alallamme kaikki kokeellinen tutkimus alkaa nykyään olla hyvin työstä ja kallista. VTT:n Ydinturvallisuustalon aikaansaaminen oli vuosikymmenien ponnistus. Trigan käyttökustannuksissakaan ei puhuttu kuin muutamasta sadasta tuhannesta eurosta per vuosi, mutta sekin tuli liian kalliiksi ylläpitää. Kaikki kokeellinen toiminta rupeaa jostain syystä olemaan niin ”tuottamatonta”, että laitteiden käyttöön sijoitettuja euroja on vaikeaa saada takaisin. Siksi tutkimus täällä ja VTT:lläkin on pääosin tietokoneella simuloitua.

Samoja ongelmia on tietysti muuallakin yhteiskunnassa. Hyvästä esimerkistä käy oman talon rakentaminen. Tarvitaan kaikenlaisia energiatodistuksia ja selvityksiä. Ja vastuut ovat paljon suuremmat kuin joskus aikaisemmin. Niin se on korkeakoulunkin puolella, tekeminen on eri syistä vaikeampaa.

Sipilän hallitus on joutunut kovasti supistamaan opiskelun ja koulutuksen rahoitusta valtion budjetissa. Niinpä aika paljon Aallossakin on jouduttu karsimaan väkeä, on ollut yt-neuvotteluja ja resursseja on vähennetty. Ovatko resurssien pienenemisen aiheuttamat haasteet kokonaisuudessaan ihan totta vai onko siinä myös jonkinlaista valittamisen makua?

Uskoisin, että jos saataisiin tehdä niin kuin halutaan, niin pienemmälläkin resursseilla asiat aivan hyvin pyörisivät. Nykyään on valtavasti paljon erilaista väliportaata toimintaa ja

hallinnointia. Hiukan karrikoiden aikaisemmin laboratoriossa oli laboratorionsinööri ja sihtööri. He hoitivat laboratorion teknisen ja taloudellisen puolen. Keskushallinnossa joku päättäjä sitten kirjoitti nimensä papereihin. Se oli siinä. Nyt on suuri määrä väliportaan ihmisiä, jotka joutuvat raportoimaan omasta työstään prosessissa. Ihan oikeita töitä hekin toki tekevät, mutta varsinainen tuote ei synny yhtään sen tehokkaammin kuin ennen. Edelleenkin meiltä valmistuu teknillisestä fysiikasta vuosittain suurin piirtein 50 diplomi-insinööriä, aivan kuten 60-70-lukujen taitteessa. Mutta henkilökuntaa on moninkertainen määrä.

Demokratia on yksi osatekijä hallinnon kasvun. Aikoinaan Pekka Jauho, Olli Lounasmaa ja Teuvo Kohonen tiesivät mitä halusivat ja se oli siinä. Ei tarvittu strategioita, eikä koko porukan niitä tarvinnut miettiä. Olimmeko me siihen aikaan jotenkin alistettuja? Voi olla, mutta en sitä koskaan pahaksi kokenut. Sinäkin olet varmaan kokenut saman? On ollut useita hallintouudistuksia ja erilaista strategiavisioajattelua, mutta ei niistä kuitenkaan ihan hirveästi ole "käteen jäänyt".

Enemmän minä nykyään näen kätten töitä, kun kesämökillä teen patiota, terassia syntyy ihan toisella tavalla.

Ihan sama kokemus. Kun näin eläkkeellä asioita pohdin, niin aika helkutinmoisen määrän olen tehnyt kaiken näköisiä raportteja. Mitä siitä on jäänyt? Tuntuu joskus ettei oikein mitään. Mutta edelleen näen, kun mökillä pel-

tikattoa vedin paikalleen, että pikkuisen meni "poskelleen". Kukaan muu ei sitä näe, minä näen. Se näkyy mitä on tehnyt.

Kai tuo on yleinen valituksen aihe alalla kuin alalla: lääketieteessä, sairaaloissa ja muualla. Hoitohenkilökunnan aikaa menee liian paljon raportointiin, tietokoneen ruudun katsomiseen ja muuhun turhaan, kun pitäisi saada enemmän aikaa itse varsinaiseen sisällölliseen työhön. Olisiko ratkaisun avain yrittäjyydessä? Siinä nähtäisiin paremmin mitä pitäisi tehdä.

En tiedä mikä olisi ratkaisu turhan työn vähentämiseen. Mutta kai on niin, että useimmissa tehtävissä pitää olla olemassa oikea selkeä tarve. Monet hallinnolliset asiat ovat kuitenkin parantuneet valtavasti vaikkapa verkkoasioinnin kautta. Voi olla, että se on yrittäjyydestäkin kiinni.

Kiire versus kiireettömyys opetuksessa

Mitä on kiire/kiireettömyys nykyään opiskelun ja koulutuksen maailmassa, onko sinulla kantaa siihen?

Onneksi pääsin eroon nykyisestä työsystemistä. Se oli tavattoman kiireellistä ja aiheuttaa kaiken näköisiä vaivoja, joita itsekin jälkikäteen tunnistin. Nyt osaa nauttia ja iloita kiireettömyydestä, ehtii välillä miettiäkin asioita. Tapasin kertoa opiskelijoille esimerkkinä aiem-

mista ajoista, että kesälomalle lähtiessä pöytä oli yleensä töistä puhdistettu.

Se oli hienoa!

Se oli hienoa! Lomalta takaisin tullessa pöydällä saattoi olla 4–5 kirjettä odottamassa ja sitä ajatteli, että "ohhoh, onpas tullut loman aikana hommia tehtäväksi!". Nyt lomalle lähtiessä ei voi kuvitellaakaan työpöydän olevan tyhjä ja lomalta takaisin tullessa on 2000 meiliä odottamassa, jos ei ole käynyt sähköpostiaan loman aikana katsomassa.

Tiedetään, että ihminen ei ehdi luoda, jos hänellä koko ajan on stressi päällä ja pitää painaa päälle. Osaisikohan ihminen opettaa ja kouluttaa itseään organisoimaan ajankäyttöään ja löytämään itselleen rauhaa ja kiireettömyyttä?

Voi olla, että nuoriso osaa tehdä sitä hiukan paremmin kuin keski-ikäinen väki taikka meikäkäläiset. He ovat siinä mielessä itsekkäämpiä, että he haluavat ja osaavat vaatia myös oman asiansa riittävää huomioon ottamista. Työ pelkästään ei merkitse vaan kokonaisuus ja sen myötä oma henkilökohtainen elämä.

ATS tärkeä alan ihmisten verkottumisessa

Puhutaan lopuksi vielä hiukan ATS:sta. Milloin tulit mukaan ATS:n toimintaan enemmässä määrin? Mitä napakkaa haluaisit sanoa ATS:n merkityksestä?

Kuinkahan se meni? Ilkka Mikkolalla taita olla näkemys, että kun ydintekniikasta oli Three Mile Islandin ja Tšernobylin jälkeen tullut aika lailla auringonlaskun ala, niin johtokunnan puheenjohtajaksi olisi hyvä saada joku akateeminen ihminen. Hänellä kun voisi olla enemmän uskottavuutta kuin teollisuuden ihmisillä. Ja siitä merkityksestä: ATS:ssa aktiivitoimijana oppii tuntemaan väkeä. Esimerkiksi ATS:n Syysseminaari on aina ollut hyvin mielenkiintoinen ja hyödyllinen tilaisuus. Onhan ATS ollut pitkän aikaa vanhojen pappojen kerho, mutta aika mukavasti on nuorisoakin tullut nykyään lisää.

Olet ATS:n uusia kunniajäseniä. Haluaisitko siinä ominaisuudessasi lähettää jotain erityistervehdystä ATS Ydintekniikan lukijoille?

Olipa aika juhlallinen kysymys! Sanotaan nyt vanhana turkulaisena, että "kyl mää ole iha otettu!".

Komiasti sanottu! Kiitos Rainer haastattelusta!



ATS:n johtokunta poseeraa Nuclear Europe Worldscan 1993 juttua varten. Vasemmalta ylhäällä Aarno Keskinen, Pekka Louko, Eero Patrakka, Olli Vilkkamo ja edessä vasemmalta Petra Lundström, Rainer Salomaa ja Seija Hietanen.

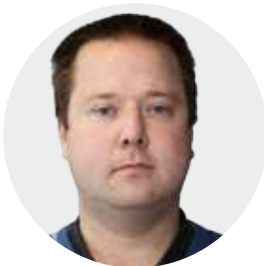
Fennovoiman ydinjätehuollon ajankohtaiset kuulumiset

Yksi Fennovoiman ydinjätehuollon ratkaisuihin päättyi viime kesäkuussa valtakunnan median otsikoihin jätettyämme ympäristövaikutusten arviointiohjelman Työ- ja elinkeinoministeriölle ja julkaistuumme samalla palvelusopimuksen Posiva Solutions Oy:n kanssa. Mediassa esiintyneet tiedot ovat kuitenkin vain jäävuoron huippu siitä, mitä kaikkea Fennovoimassa tehdään ydinjätehuollon saralla.

Teksti ja kuva: Ville Koskinen

Voimalaitosjätteen käsittely

Ilmeinen osa Fennovoiman ydinjätehuoltoa on laitokselle hankittavat laitteistot, jotka mahdollistavat voimalaitosjätteiden käsittelyn ja pakkaamisen loppusijoitettavaan muotoon. Näiden laitteistojen suunnittelijana ja toteuttajana toimii koko voimalaitoksen pääsuunnittelija Atomproekt, ja Fennovoiman rooli on lähinnä suunnitelmien kommentointi, tarkastus ja hyväksyminen. Jätehuoltosuunnitelmien tarkastamisessa on ollut välillä yllätyksiä, kun meille on ehdotettu muutamia uudentyypisiä ratkaisuja, joiden hyväksyttävyydestä olemme pariin kertaan joutuneet keskustelemaan viime kädessä STUKin kanssa. Yleensä uudet lähestymistavat on saatu keskusteltua ja arvi-



DI Ville Koskinen

Nuclear waste management engineer
Fennovoima
ville.koskinen@fennovoima.fi

oitua omin voimin ja konsultteja hyödyntäen. Esimerkkinä hylätyistä ratkaisuihin on meille tarjottu jätteenpolttolaitos, jota ei pidetty parhaana vaihtoehtona turvallisuuden eikä talouden kannalta. Suuret linjat alkavat olla voimalaitosjätteen käsittelyssä sovitut, mutta yksityiskohdissa riittää vielä keskusteltavaa, jotta voimme laitoksen käynnistyessä todeta ylpeänä omaavamme turvallisimman ja tehokkaimman ydinjätteen käsittelyjärjestelmän.

Voimalaitosjätteen käsittelyn tulee perustua jätteen loppusijoituksen turvallisuuteen. Loppusijoitusratkaisut eivät vielä tässä vaiheessa ole meillä niin ajankohtaisia kuin itse laitoksen järjestelmien suunnittelu, mutta töitä tehdään tämänkin eteen. Voimalaitosjätteen loppusijoittamiseksi rakentamislupahakemuksessa on esitetty kaksi tapaa: perinteinen VLJ-luola sekä maaperäloppusijoitus, jota Suomessa ei ole aiemmin käytetty. Maaperäloppusijoitus muistuttaa tavallista kaatopaikkaa leviämisseiden sekä sulkurakenteidensa puolesta. Maaperäloppusijoituksen toteutusta varten tarvitaan perinteistä ratkaisua laajempaa yhteistyötä viranomaisten kanssa, sillä nykyiset YVL-ohjeet eivät kata maaperäloppusijoitusta. Toisaalta taas Ydinenergia-asetus sekä Säteilyturvakeskuksen määräys ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuudesta antavat maaperäloppusijoitukselle määräyksiä. Maaperäloppusijoitus soveltuu vain hyvin matala-aktiiviselle jätteelle ja muistuttaakin

ulkoisesti enemmän perinteistä kaatopaikkaa - joskin ilman lokkeja. Mikäli maaperäloppusijoitukseen päädytään, loppusijoituslaitoksen tulisi olla käytössä noin kaksi vuotta laitoksen käynnistymisen jälkeen eli vuonna 2026. Maaperäloppusijoitus voidaan toteuttaa STUKin toimenpideluvalla aktiivisuusinventaarin pysyessä verrattain alhaisena.

Maaperäloppusijoitus ei ole mahdollista matala- ja keskiaktiiviselle jätteelle, mistä johtuen myös VLJ-luolan toteutusta voimalaitosalueelle on alettu tutkia. Toki hyvin matala-aktiivinenkin jäte on mahdollista sijoittaa VLJ-luolaan. Ensimmäiset kallion kairaukset on tehty jo pari vuotta sitten, ja niiden jatkotutkimukset ovat nyt alkamassa yhteistyössä Posivan kanssa. Lähivuosina tullee ajankohtaiseksi kairata lisää tutkimusreikiä, jotta epävarmuuksia kallioperän laadussa voidaan vähentää ja saada VLJ-luola asemoitua pitkäaikaisturvallisuuden kannalta optimaalisesti. Tavoitteena olisi saada VLJ-luola käyttöön viimeistään vuonna 2034, siihen saakka kertyvät jätteet voidaan varastoida laitoksella olevassa välivarastossa. Koska VLJ-luola on ydinlaitos, sille tulee saada rakentamislupa sekä käyttö lupa valtioneuvostolta. VLJ-luolan periaatepäätös on saatu yhdessä voimalaitoksen kanssa. VLJ-luolan varsinainen luvitusprosessi tulee viemään myös oman aikansa.

Koska loppusijoituslaitos matala- ja keskiaktiiviselle jätteelle valmistuu vasta noin kymmenen vuotta laitoksen jälkeen, keskiaktiivisen jätteen käsittelylle ja pakkauksille asetettavien toimintakykytavoitteiden täyttymisestä tulee haastavia todentaa. Tämä on tunnistettu mahdolliseksi haasteeksi laitostoimittajan kanssa, joka ei ole tottunut suomalaiseseen ajatustapaan loppusijoituksessa. Venäjällä loppusijoituspakkaus tyyppi hyväksytään loppusijoitukseen, vaikka varsinaista loppusijoituslaitosta ei ole olemassa eikä loppusijoituslaitokselle ole viranomaisen toimesta kirjattu pitkäaikaisturvallisuusvaatimuksia. Tämä pääsuunnittelijan toimintaympäristön erilaisuus saattaa johtaa ratkaisuihin, jotka eivät ole laitoksen käyttöä ajalle laskettuna taloudellisesti optimaalisia, jos maanalaisten tilojen suunnittelussa joudutaan korjaamaan laitoksen teknisissä ratkaisuissa olevia epäkohtia, jotta riittävä pitkäaikaisturvallisuustaso voidaan saavuttaa.

Käytetyn polttoaineen välivarasto

Viime kuukaudet meitä eniten työllistänyt aihe on varmaan suurimmalta osalta ATS:n jäsenkuntaa jäänyt huomaamatta: käytetyn polttoaineen välivarasto. KPA-välivarastolle haettiin rakentamislupaa samaan aikaan voimalai-



Marraskuinen näkymä Pyhäjoen Sydännevan tutkimusalueelta

toksen kanssa. Tämä käynnisti leikkimielisen kilpajuoksun laitostoimittajan kanssa: kumpi saakaan teknisen dokumentaationsa ensimmäisenä valmiiksi. Alkuvuodesta 2016 aloitimme yhteistyökumppanin kanssa projektin, jonka tavoitteena oli saada valituksi välivaraston konsepti. Valintaa ohjaavina tekijöinä olivat laitoksen suojarakennuksessa olevien polttoainealaiden kapasiteetti, polttoaineen poistopalamala, jälleenkäsitellystä uraanista valmistetun polttoaineen aavistuksen korkeampi jälkilämmön tuotto sekä YVL-ohjeisto.

Valinta saatiinkin tehdyksi kesäkuussa päätyen perinteiseen allasvarastoon. Avaan tässä hieman valintaan johtaneita perusteita. Turvallisuuden kannalta allasvaraston ja kuivavaraston välillä ei nähty merkittäviä eroja: molemmilla on vahvat ja heikot puolensa. Kustannusarvion suhteen varaston elinkaarikustannuksissa ei löytynyt diskonttauksen jälkeen merkittävää eroa. Tutkimme asiaa siis syvällisemmin, jotta valintaa ei tarvitsisi tehdä kolikkoa heittämällä, ja alkoihan niitä eroavuuksiakin löytyä. Allasvaraston etuna nähtiin lämmönsiirto: jälkilämpöteho ei nouse varaston käytössä rajoittavaksi tekijäksi. Vastaavasti kuivavarastossa olisi ollut hieman epävarmaa, saadaanko kuivavarastoastiaa täytetyksi täyteen polttoaineen seitsemän vuoden jäähdyttämisen jälkeen, vai olisiko jälkilämpöteho ollut astian suunnittelutehoa korkeampi, puhumattakaan jos palamaa joskus nostetaan nykyistä korkeammaksi.


Toinen mahdollinen ongelma kuivavaraston kohdalla nähtiin lisensioinnissa. YVL-ohjeisto on kirjoitettu allasvarastolle, ja vaikka kuinka yritimme päätellä, millaisia ohjeita kuivavarastoon voisi kohdistua, päädyimme kalliisiin ja turvallisuusriskiä lisääviin ratkaisuihin, jotta nykyisten ohjeiden henki ja turvallisuustaso voitaisiin saavuttaa. Toki olimme keskustelleet koko prosessin ajan STUKin kanssa, joka oli valmistautunut tekemään ohjeiston kuivavarastointia varten, mikäli olisimme indikoineet sellaista tarvitsevamme. Toisaalta myös itse kuivavarastoastian lisensiointi nähtiin aikaa ja rahaa vievänä, sillä missään päin maailmaa ei ole vielä lisensioitu AES-2006 -polttoaineelle kuivavarastoastiaa. Venäjällä on toki lisensioitu TK-1410 -astia joka soveltuisi AES-2006 -polttoaineelle. Mutta sekin on lisensioitu vain kuljetuskäyttöön, ei vuosikymmenien varastointiin, ja senkin lisenssi on toistaiseksi vain VVER-1000 -reaktorin polttoaineelle.

Käytetyn polttoaineen loppusijoitus

Viimeisenä joskaan ei vähäisimpänä alussa mainitsemani käytetyn polttoaineen loppusijoitus. Kesällä julkaisimme YVA-ohjelman, jossa on mainittu kaksi tutkimusalueetta: Eurajoki sekä Pyhäjoen Sydänneva. Molemmat ovat suuria tutkimusalueita, joiden kokoa lähdeään ensi vaiheessa rajaamaan lupaavimpiin osiin. Tämä työ tehdään kirjallisuusselvityksin sekä maanpinnan kalliopaljastumia tutki-

malla. Luonnossa ulkoilua pääsemme työajalla harrastamaan näillä näkymin ensi kesänä Pyhäjoella Eurajoen tullessa kysymykseen myöhemmin. YVA-ohjelman tiimoilta keskustelimme Sydännevan tutkimusalueen reunalle, Karhunnevan kankaalle, tuulivoimapuistoa suunnittelevan Wpd-Finland yhtiön kanssa. Keskustelun jälkeen totesimme molempien hankkeiden mahtuvan alueelle ja pystyvämme yhteiselo. Heidän intressinsä on reilu 100 metriä maanpinnasta ylöspäin meidän intressiemme ollessa useamman sadan metrin syvyydessä maanpinnan alla. Varsinaista kiirettä käytetyn polttoaineen loppusijoitushankkeella ei ole, joskin on hyvä pitää mielessä, että tutkimuksissa tarvitaan pitkäkestoiset kokeet, joten ei aikaa tuhlattavaksikaan ole.

Olemme suunnitelleet jättävämmä periaatepäätöshakemuksen (PAP-hakemus) 2040-luvulla ja aloittavamme varsinaisen loppusijoitustoiminnan 2090-luvulla. Toivomme pystyvämme syventämään Posivan kanssa tehtävää yhteistyötä, jotta käytössämme on paras tietotaito paikanvalintaa tehtäessä.

Edellä olevasta voidaan havaita, että teke mistä on paljon. Ja vaikka aikaskaalat ovat pitkiä kuten jätehuollossa yleensäkin, emme voi tuudittautua siihen uskoon, että asiat ehditään tehdä myöhemminkin. Kuvaavaa onkin, että ensimmäinen STUKin hyväksyttäväksi toimittu Fennovoiman jätehuoltoon liittyvä dokumentti oli voimalaitoksen alustava käytöstäpoistosuunnitelma. 

ENS and its new vision and strategy – and why ATS should be part of it?

Since more than 40 years European Nuclear Society (ENS) has provided the cooperation framework for nuclear societies in Europe. The last years nuclear power has been questioned more than ever in Europe despite its clear benefits in relation to the climate change. Thus, the need for a European-wide nuclear society and nuclear spokesperson is larger than ever. Despite that, the benefits of being a member to the European Nuclear Society have been questioned. What do the individual and corporate members get for their membership fees? What are the benefits? Is it worth to be a member? Why does one need to be part of ENS at all?

Text: Henri Ormus

THE QUESTIONS are relevant since the benefits and accomplishments of ENS have not been communicated very well. ENS board has understood that they need to be addressed quickly and in response to the questions raised ENS has decided to revisit its vision and strategies.

In order to set clear aims and targets for the organization the new vision and strategy working group was formed in the beginning of 2016. After analysis and strategic planning, the new ENS Vision and Strategic Objectives

were proposed and finally approved by the ENS General Assembly on June 13, 2016.

Currently the ENS board and the working groups are finalizing the Strategic Plan, which is a more detailed document with a clear set of actions and tasks based on the agreed Vision and Strategic Objectives. The goal is to clarify where do ENS, as a society, want to go and what it wants to achieve.

One aim of the development is to increase ENS membership value, also to increase member engagement and involvement, thus contributing to a more active and vibrant organization.

THERE ARE NEW INITIATIVES already under implementation and improvements to be initiated in near future, for instance:

- Updated and modernized ENS website.
- The establishment of an *Improvement Forum* for coordinated sharing and implementing of best practices between the member societies.
- Re-evaluating and planning the ENS conferences – to be according today's needs and expectations of members.
- Strengthen the cooperation with the European Commission and to be a major stakeholder in nuclear related issues.
- Take more active role to suggest and actuate targeted communication cam-

paigns aiming at communicating the urgent needs of nuclear technology development.

- Establishment of academic publishing through ENS.
- Create a communication team to coordinate and plan the communication of ENS.

Some of the identified strategic initiatives are already ongoing with high momentum. For instance, during the last year ENS has obtained good connections with relevant European Commission institutions and is considered a given partner with respect to R&D as well as education and training in nuclear. Projects are ongoing and others are planned for the next year. One example is ENS as facilitator for communication activities within SNETP (the Sustainable Nuclear Energy Technology Platform).

ENS has also been the driving force behind the successful communication campaign *Nuclear for Climate*, aiming at communicating a balanced view on nuclear power and its role in fighting the climate change. The main target group has been the climate negotiators during the climate meetings in Paris 2015 and Marrakesh 2016. ENS has given to the grass-root initiative *Nuclear for Climate* a high degree of credibility and a



DI Henri Ormus

Secretary of International Affairs
Finnish Nuclear Society
henri.ormus@fennovoima.fi

given success during the climate meetings and has thus been the main contributor to a clean energy view on nuclear during these historical events.

ENS has also initiated cooperation with the European Physics Journal – Nuclear Sciences & Technologies (EPJ-N), which is an open access publishing channel. Academic publishing is a corner stone in the recognition of ENS and the credibility of ENS organisation and its communication outreach.

Not all the work ENS is doing is directly visible to its members, so it is important to highlight that there are already many benefits to the members. ENS, as a mother society, provides a platform for competence enhancement, networking and sharing knowledge between the members through its wide selection of frequent conferences. As described above, ENS also communicates the benefits of nuclear science and technology, including nuclear power, on a scientific basis to the general public, thus being a major voice of the European nuclear community.

NOW OUR GLOBAL COMMUNITY MUST BE EVEN STRONGER and engage more effective communication to support the fight against the global climate change, to drive the technological development and to teach and educate the general public about the benefits of nuclear energy. This cannot be done alone by a small group of people or by one little organisation – the only way to do it is to engage all the national societies and its members, to engage the entire international nuclear community.

Therefore, the question actually is not whether to be a member of ENS or not, the question is how each individual member can help and support its mother society and thus the entire international nuclear community. Putting in effort, brainpower, finances or any other kind of support to the local nuclear societies and through that also to ENS helps to make the nuclear community stronger, more visible and thus to build together a better world to live in. The local engagement pays back in the form of wider understanding of nuclear applications and an international umbrella of cooperation enhancement within the field of nuclear science and technology. ☸



EUROPEAN NUCLEAR SOCIETY

Vision and Strategic Objectives

Vision

ENS will be the recognised platform that brings nuclear societies and professionals in Europe together, allowing them to exchange knowledge and experience about nuclear science and technology. ENS will promote the development of nuclear science and technology and the understanding of peaceful nuclear applications.

Strategic Objectives

A. Supporting the member societies and their individual members

Being the mother organisation of the national nuclear societies in Europe, ENS shall support information exchange and cooperation between its member societies and their individual members.

1. Conference organisation
2. Enhanced society cooperation
3. Improvement forum

B. Supporting professional development and networks

By creating opportunities for professional development ENS is a facilitator for companies, research centres and academia within the European nuclear competence network.

1. Conference organisation
2. Support YG and WiN networks
3. Maintaining nuclear competence network
4. Recognised partner of the European Commission
5. International partnerships

C. Nuclear Advocacy

As a group of nuclear societies ENS shall be the foremost grass-root advocate for peaceful nuclear applications in Europe. As a group of nuclear experts ENS is able to advice policy makers and key decision makers in nuclear related issues.

1. Credible nuclear spokesperson
2. Academic recognition

D. Nuclear communication and public awareness

ENS is developing, promoting and sharing knowledge and understanding of peaceful applications of nuclear science and technology in Europe and shall be the first choice public information source on peaceful nuclear applications.

1. Web portal on nuclear applications
2. Credible information provider

Onko Olkiluodon kallioperä pysynyt vakaana?

Mikroseismiset tutkimukset osana ONKALOn monitorointiohjelmaa

Maailman ensimmäisen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilan rakentaminen on alkamassa Eurajoen Olkiluodossa. ÅF-Consult Oy on suunnitellut Olkiluodon seismisen asemaverkon ja toiminut Posiva Oy:n konsulttina mikroseismiseen monitorointiin liittyen jo vuodesta 2002 lähtien. Mikroseismisen monitoroinnin tarkoituksena on havaita lähi-alueella tapahtuvat tektoniset tai louhinnan indusoimat maanjäristykset, jotka saattavat vaikuttaa Olkiluodon kallioperän vakauteen. Seismisiä havaintoja, lähinnä räjäytyksiä, voidaan hyödyntää myös ydinmateriaalivalvonnan turvallisuusnäkökulmasta.

Teksti: Marianne Malm



FM Marianne Malm

Seismologian asiantuntija
ÅF-Consult Oy
marianne.malm@afconsult.com

OLKILUODON TULEVA käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituspaikka on pian etenemässä varsinaiseen rakennusvaiheeseen, mutta maanalainen spiraalitunneli on ollut jo pitkään tutkimustilana, joka tunnetaan nimellä ONKALO. Seisminen monitorointi on aloitettu Olkiluodossa jo vuonna 2002, noin kaksi vuotta ennen ONKALOn rakentamisen aloitusta. Aluksi asemaverkkoon kuului vain kuusi seismistä asemaa, mutta nykyään asemaverkko koostuu 17 asemasta ja verkkoa on tarkoitus laajentaa loppusijoitustilojen rakentamisen edetessä. Seisminen monitorointi on myös osa ONKALOn ydinsulkuvalvontaa.

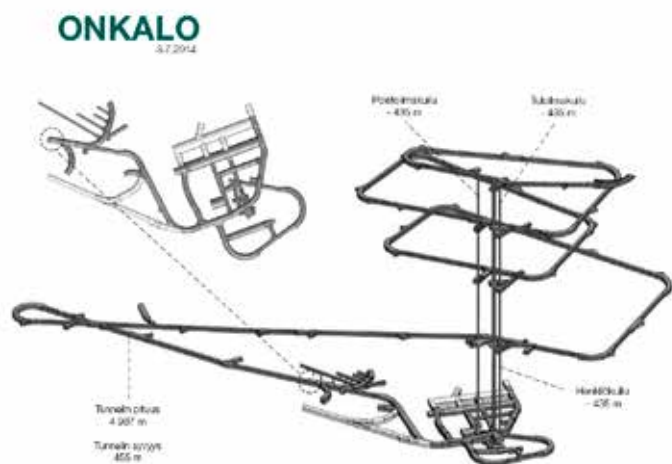
Asemaverkko ja seismiset havainnot

Olkiluodon seismiseen asemaverkkoon kuului vuoden 2015 lopussa 17 asemaa ja yhteensä 21 anturia (11 geofonia ja 10 kiihtyvyyssanturia). Näistä 14 asemaa sijaitsee Olkiluodossa ja kolme saaren ulkopuolella. Seismisellä monitoroinnilla on kaksi kohdealuetta, joista laajempi, *seisminen lähialue*, kattaa Olkiluodon saaren lähiympäristöineen. Lähialueelta havainnoidaan räjäytyksiä ja tektonisia maanjäristyksiä. Kaikkien louhinnan indusoimien tapausten oletetaan tapahtuvan pienemmällä kohdealueella, *ONKALO-alueella*, joka on maanalaista tilaa ympäröivä, sivuiltaan kaksisikilometrinen kuutio (2 km × 2 km × 2 km). Olkiluodon asemaverkolla voidaan havaita suunnilleen $M_L = -2.5$ suuruisia tapauksia ONKALO-alueella ja $M_L = -1.0$ tapauksia asemaverkon sisäpuolella ($M_L =$ magnitudi paikallisella Richterin asteikolla). ÅF-Consult Oy vastaa seismisten tapausten tulkinnasta ja raportoinnista. Asemaverkon ylläpito ja suunnittelu sekä ohjelmistojen ja laitteiston päivittäminen hoidetaan yhteistyössä Posiva Oy:n ja Institute of Mine Seismology Ltd:n (IMS) kanssa.

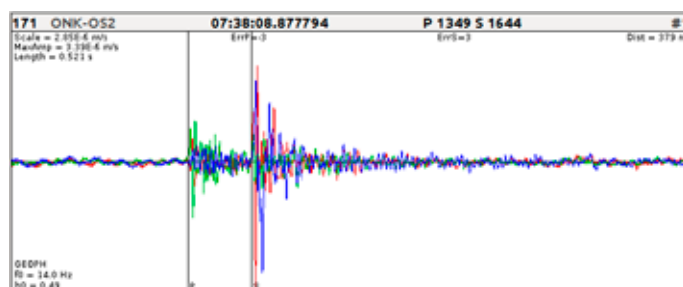
Posiva Oy:n asemaverkon havaitsemat seismiset tapaukset luokitellaan päivittäisanalyyseissä räjäytyksiin, maanjäristyksiin ja ns. pieniin tapauksiin, jotka voivat olla seurausta esimerkiksi kivilohkareiden irrotuksesta tai tunnelissa tapahtuvasta lastauksesta. Seismisen aineiston analysoinnissa käytetään IMS:n kehittämiä prosessointi- ja visualisointiohjelmistoja. Havaintojen vuosittainen lukumäärä riippuu pitkälti ONKALO-alueella käynnissä olevien töiden määrästä: tunnelilouhinnan vilkkaimpina aikoina on paikallistettu yli 2000 tapausta vuodessa, kun viime vuosi on jäänyt alle 500 tapaukseen. ÅF-Consult Oy raportoi seismisistä tapauksista kuukausittain ja lisäksi koko vuoden havainnot kootaan Posiva Oy:n kalliomekaniikan monitoroinnin yhteiseen vuosiraporttiin.

ONKALOn ydinmateriaalivalvonta eli safeguards

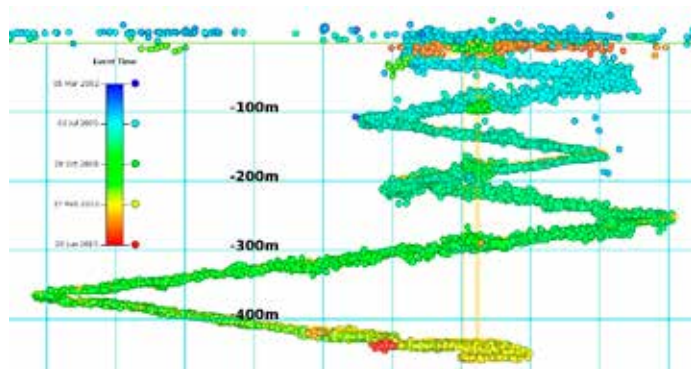
Turvallisuus on aina erittäin tärkeässä asemassa, kun on kyse ydinvoimaan liittyvistä tehtävistä. Seismisen monitoroinnin havaintoja voidaanankin hyödyntää myös Posiva Oy:n ydinmateriaalivalvontaan liittyvässä tarkkailussa. Kerätyn aineiston avulla voidaan osoittaa, että tunneliverkostoon ei esimerkiksi louhita ylimääräisiä ilmoittamattomia tiloja ja maanalaiseen tilaan ei tunkeuduta ulkopuolelta. Kaikkien havaittujen seismisten tapausten alkuperä selvi-



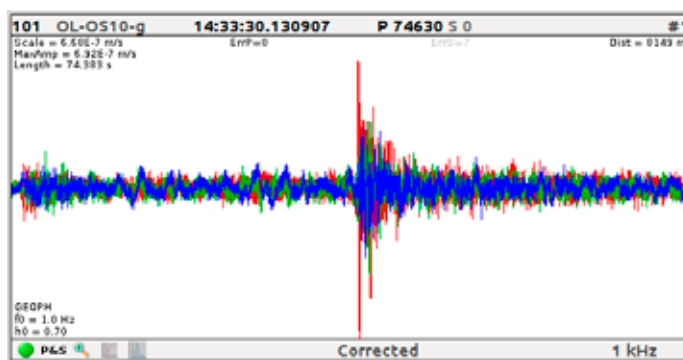
ONKALOn louhintatilanne 3.7.2014, jolloin pääosa tutkimustunneleista ja teknisistä tiloista oli jo valmiina (harmaalla merkityt alueet). Tällä hetkellä työt jatkuvat kuvassa valkoisella esitettyjen ajoneuvoyhteyksien ja parkkihallin louhinnalla (kuva: Posiva Oy).



Mikromaanjärityksen rekisteröinti ONKALossa 18.11.2015 klo 07:38:08 UTC-aikaa (seisminen asema ONK-OS2). Erisuuntaiset komponentit on esitetty eri väreillä: punainen kuvaa maanliikettä pohjois-eteläsuunnassa, vihreä itä-länsisuunnassa ja sininen vertikaalisuunnassa. P-aallon (ensimmäisenä saapuva pitkittäisesti etenevä primääriaalto) ja S-aallon (poikittaisesti etenevä sekundääriaalto) alut on merkitty pystysuuntaisilla viivoilla. Mikromaanjäritys oli voimakkuudeltaan $-2,0$ (M_L) ja sen on arvioitu aiheuttuneen 7,5 m -säteisen lähdealueen liikahtaessa $1,1 \mu\text{m}$. Kyse on siis hyvin pienestä maanliikkeestä (Johansson ja muut, 2016).



ONKALO-työmaan räjäytyksiä vuosilta 2002–2015. Vanhimmat paikallistetut tapaukset on merkitty sinisellä ja uusimmat punaisella. Paikallistustarkkuus on parantunut vuosien myötä seismisen asemaverkon tihentyessä (kuva: Posiva Oy).



Kouvolassa 17.6.2015 sattuneen tektonisen maanjärityksen rekisteröinti asemalta OL-OS10 klo 14:33:30 (UTC). Järitys oli voimakkuudeltaan $1,9$ (M_L) ja siitä on myös tuntuvuushavaintoja tapahtumapaikan lähialueilta (Johansson ja muut, 2016).

tetään ja raportoidaan. Lisäksi on tutkittu, että tunnelinporauslaitteiston aiheuttamaa tärinää pystytään havaitsemaan seismisillä mittareilla riittävän kaukaa ja ajoissa, mikäli ulkopuolinen tunkeutuja päättäisi porata tiensä loppusijoitus-tiloihin (Saari ja Lakio, 2009).

Tulevaisuudessa nykyisen kaltaista seismistä monitorointia on mitä todennäköisimmin tarkoitus jatkaa loppusijoitustilojen louhinnan ajan ja jonkinlaista jatkuvaa monitorointia saatetaan käyttää aikanaan tilojen sulkemisen jälkeen. Seismiset mittaukset

ovat osoittaneet ONKALoa ympäröivän kalliomassan pysyneen vakaana havaintosarjan aikana. Myöskään ydinsulkuvalvonnan kannalta turvallisuuteen vaikuttavaa toimintaa ei ole alueella havaittu.

Lähteet:

- Johansson, E., Saari, J., Malm, M., Lahtinen, S., Saaranen, V., Kallio, U., Koivula, H., Rouhiainen, P., Haapalehto, S., 2016. Results of Monitoring at Olkiluoto in 2015, Rock Mechanics. Working Report 2016-47, Posiva Oy.
 Saari, J., Lakio, A., 2009. Feasibility study and technical proposal for seismic monitoring of tunnel boring machine in Olkiluoto. Working Report 2009-3, Posiva Oy.

BWR Fuel Design Westinghouse TRITON11™

Ulf Benjaminsson
Westinghouse Electric Sweden AB

Two key objectives of BWR fuel design development are to improve the fuel reliability and reduce the fuel cycle cost. Innovative engineers have continuously generated new ideas to optimize the fuel design, and new materials have been introduced to better resist the challenging conditions during reactor operation. TRITON11™ is Westinghouse's most recent contribution to this development, an 11x11 lattice design with three internal water rods, which is expected to surpass other BWR fuel designs on the market and result in important savings to the utilities.

Luotettavuuden parantaminen ja polttoainekierron kustannusten vähentäminen ovat tärkeimmät tavoitteet kehitettäessä kiehutusvesireaktorien polttoainesuunnittelua. Uusia ideoita polttoainesuunnittelun optimoimiseksi ja materiaaleja, jotka kestävät paremmin reaktorin haastavissa olosuhteissa, kehitetään jatkuvasti. TRITON11™ on Westinghousen uusi panos tässä kehityksessä: 11 x 11 polttoainenippu kolmella vesisauvalla, jonka odotetaan sivuuttavan muut markkinoilla olevat kiehutusvesireaktorien polttoainedesignit ja saavan aikaan käyttäjälleen merkittäviä säästöjä.



Figure 1. Channeling of a TRITON11 fuel assembly.

Westinghouse has developed a new advanced fuel product named TRITON11. The aim of this new fuel design is to make a large step in performance by significantly reducing the fuel cycle costs, while maintaining and further improving fuel reliability. This is particularly relevant with the current economic pressure on the utilities.

TRITON11 – Design and Performance

The TRITON11 fuel assembly consists of:

- 91 fuel rods of full length
- 10 1/3-length rods, ending at spacer level 4
- 8 2/3-length rods, ending at spacer level 7
- 3 cylindrical water rods

The total heated rod length is increased by 10% as compared to the 10x10 lattice in Westinghouse current product, SVEA-96 Optima3. Hence, for the same bundle power, the average LHGR is reduced by 10%. The number of fuel rods is also important to the critical power ratio (CPR) since it controls the surface heat flux.

During the development, much effort was spent to find the optimum number and size of internal water channels to maximize reactivity at hot conditions, minimize rod power peaking, and improve cold shutdown margin (SDM). The optimum was obtained with three central water channels. Six 1/3-length rods were located adjacent to the water rods, which contribute to a good shutdown margin through over-moderation at cold conditions. The nuclear heating coefficient is controlled by the 2/3-length rods. The selected part-length rod design also reduces the two-phase pressure drop, which could otherwise cause stability issues.

A direct comparison with Optima3 for an equilibrium cycle shows typical enrichment savings of 0.10–0.15 w/o U-235, while significantly reducing the reload size as a result of increasing the uranium weight by 5%. Based on an equilibrium core analysis of TRITON11 in 2025 in Olkilouto, this has been estimated to correspond to a monetary saving in the magnitude of 1 million Euros per cycle and unit.

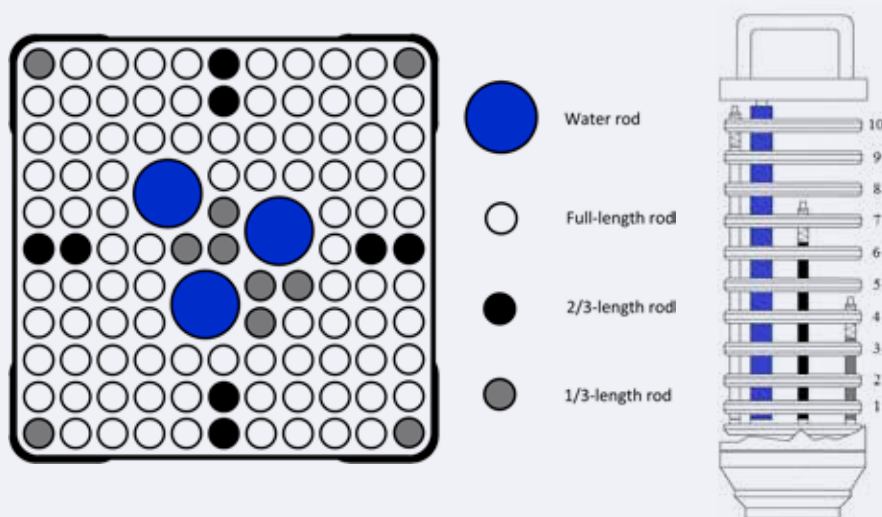


Figure 2. TRITON11 fuel lattice geometry and fuel bundle geometry.

Mechanical Design

With TRITON11, Westinghouse is abandoning the SVEA-channel, with the characteristic cruciform water channel design, and will instead use a more conventional channel design. The performance will be enhanced by use of a lower section of standard thick-thin type (thicker corners), and an upper section with uniformly thin channel walls.

The TRITON11 fuel is equipped with the same sleeve-type spacer design as Optima3, but adapted to the smaller fuel rod diameter and pitch, and laterally scaled to an 11x11 lattice. Hence, the TRITON11 spacer inherits the benefits of enhanced debris failure resistance of the Optima3 spacer grids. In addition, the design of the spacer frames has been further optimized to prevent capturing debris and is working in conjunction with a full-size TripleWave+™ debris filter.

Materials

TRITON11 uses materials with extensive operating experience and known benefits from use in previous Westinghouse BWR fuel products. The following will be used as standard materials for the main components in TRITON11.

- Channel and water rod cladding: Low Tin ZIRLO™
- Fuel rod cladding: HiFi™ with the same ZrSn-liner as in LK3/L (current cladding material)
- Spacers: Inconel X-750
- Pellets: ADOPT™

Extensive operating experience with Low Tin ZIRLO as channel material and covering burnups up to 72 MWd/kgU, show low irradiation growth and insignificant bow.

The use of HiFi as cladding material will further increase margins to cladding embrittlement from hydrogen pickup during normal operation as well as in postulated LOCA and RIA. Significant operational experience with HiFi exists. The successful Westinghouse fuel cladding liner, currently used with LK3/L material, is maintained in TRITON11 (no duty related failures have ever occurred with Westinghouse lined

10x10 fuel). The liner gives efficient protection against PCI failures induced by control rod withdrawal. It is also needed to protect against low probability failure scenarios that could potentially occur during normal operation, including failures caused by manufacturing defects such as missing pellet surface (MPS).

Verification and Demonstration

The TRITON11 fuel product is in the final stage of development prior to insertion of Lead Test Assemblies (LTAs). Extensive testing and analyses are ongoing to ensure that all design requirements are fulfilled. Various tests are also being performed in the Västerås fuel factory to verify manufacturability and prepare for LTA production. Concepts for fuel service, inspection and repair are also being developed.

The first delivery of lead test assemblies is scheduled for 2018.

Writer



Ulf Benjaminsson, M.Sc.

Marketing Manager
Westinghouse Electric Sweden AB
benjamup@westinghouse.com

Kysymys ioninvaihtohartsien kiinteytysmenetelmän valinnasta muiden ydinjätehuollon haasteiden varjossa

Tero Lytsy, Timo Siiskonen
Platom Oy

Kysymys siitä, miten radioaktiivinen jäte pitäisi käsitellä ja loppusijoittaa, on vaikea ja tehdyt ratkaisut ovat kauaskantoisia ja joskus peruuttamattomia. Viime vuosikymmeninä alan yhteisö on keskittynyt käytettyyn polttoaineeseen liittyviin haasteisiin, mikä on alan kuumana perunana vienyt ilmat muilta ydinjätehuollon kysymyksiltä. Yksi näistä on kysymys märkien keskiaktiivisten jätteiden kiinteytyksestä.

The question on how radioactive waste should be processed and disposed is difficult and selected solutions typically lead to long-term and sometimes irreversible consequences. During the last decades the nuclear community has focused on challenges related to the used nuclear fuel, which as the 'hot potato' of the industry has somewhat deflated attention paid on other radioactive waste management questions. One of these questions is related to solidification of wet interim-level radioactive waste.

Keskiaktiivisten jätteiden kiinteytystekniikan valinnan vaikeus kuvastaa yleistä päätöksenteon vaikeutta ydinvoima-alalla, kun asiassa ei ole yhtä selvää ratkaisua. Käytössä on eri ratkaisuja ja uutta kehitystäkin on ollut. Pitäisikö nykyiset ratkaisut siten kyseenalaistaa ja miettiä asia uudelleen puhtaalta pöydältä? Vai pitäisikö vain tyytyä nykyiseen ja ehkä odottaa, että asiasta opitaan lisää? Miksi asia pitäisi ratkaista Suomessa nyt, kun suuretkin maat, esimerkiksi USA ja Iso-Britannia, vielä empivät? Olisiko ratkaisun siirtäminen sittenkin oikea ratkaisu?

Mitä märät keskiaktiiviset jätteet ovat ja miksi niitä pitää kiinteyttää?

Märkiä keskiaktiivisia jätteitä syntyy kaikilla ydinvoimalaitoksilla erilaisissa vesien puhdistuspiireissä. Yleisimmät jätetyypit ovat ioninvaihtohartsit, joiden tarkoitus on toimia kemiallisina pesusieninä, keräten radioaktiivisuutta vesistä. Näihin puuromaisiin (raehartsit, Kuva 1) ja tahnamaisiin (pulverihartsit) massoihin kerääntyy suurin osa prosessi- ja voimalaitosjätteiden radioaktiivisuudesta.

Ioninvaihtohartsin rae tai hiukkanen muodostuu muovirungosta, jonka pinnalla on suuri määrä aktiivisia ryhmiä, joilla on halu (*affiniteetti*) luovuttaa ioninsa halutumpaa ionia vastaan. Hartsit poistaa vedestä liuenneesta muodossa olevaa radioaktiivisuutta. Yleensä käytetään yleismassoja, joilla poistetaan joko anioneja tai kationeja, mutta on myös olemassa selektiivisiä massoja, joilla poistetaan vain tiettyjä radionuklideja. Pulverihartsit poistavat myös hiukkasmaista radioaktiivisuutta.

Hartsit ovat melko helposti leviävässä muodossa ja esimerkiksi säiliön puhjetessa ne valuvat helposti ympäristöön, levittäen radioaktiivisuutta. Jo niiden siivoaminen laitostiloista voi olla haasteellista, saati sitten jos niitä leviää laitoksen ulkopuolella ympäristöön. Siksi hartseja on käytännössä koko ydinvoima-alan historian ajan pyritty käsittelemään leviämättömään muotoon, eli kiinteyttämään. Kiinteytys on nähty välttämättömäksi maanpäällisissä loppusijoitusratkaisuissa, mutta muissakin ratkaisuissa tarpeelliseksi. Kuvassa 2 on esitetty loppusijoitettua kiinteytettyä jätettä Olkiluodon voimalaitoksen jätesilossa.

Mitä kiinteytys on ja mitä menetelmiä on käytössä?

Kiinteytyksen tarkoitus on sitoa haitta-ainetta ja eristää ne näin pysyvästi ympäristöstä. Yleensä tämä voi toteutua kahdella tavalla:

- ympäröimällä haitta-ainetta (*microencapsulation*) ja/tai
- sitomalla haitta-ainetta kemiallisesti.

Yleisesti käytettyjä kiinteytysmenetelmiä ovat sementtikiinteytys, bitumikiinteytys ja polymeerikiinteytys. Sementtikiinteytyksessä toteutuvat näistä tavoista kumpikin, kun taas bitumi- ja polymeerikiinteytyksessä vain ensimmäinen. Uusiakin menetelmiä on kehitetty, joista tässä artikkelissa käsitellään geopolymeerikiinteytystä ja kuumakompaktointia.

Sementtikiinteytys – Perinteisin kiinteytysmenetelmä: Perinteisin hartsien kiinteytysmenetelmä on jätteen sekoitus sementtiin. Kuvassa 3 nähdään halkaistuna sementtiin kiinteytettyä jätettä. Sementtikiinteytystä



Kuva 1. Raemaista ioninvaihtomassaa (kuva: Wikipedia).

käytetään mm. Ruotsissa ja siihen perustuu myös Loviisan voimalaitoksen nestemäisen jätteen kiinteyslaitos LOKIT. Myös Fennovoiman Hanhikivi 1 -laitoksella tullaan käyttämään sementtikiinteytystä. Sementtikiinteytykseen on näissä päädytty todennäköisesti siksi, että siitä on ollut paras tieto ja ymmärrys ja näin ollen sitä on pidetty turvallisimpana ratkaisuna.

Sementti ja siitä valmistettu betoni ovat vanhoja keksintöjä ja jo antiikin roomalaiset käyttivät niitä. Mielikuva betonin kestävydestä onkin vahva, vaikka betonin ja betonirakentamisen pulmistakin puhutaan usein.

Sementtikiinteytyksessä hartsi sekä ympäröidään sementillä, että radionuklidit saostuvat kemiallisissa reaktioissa sementin ainesosien kanssa. Itse sementti saostuu kemiallisessa reaktiossa veden kanssa. Vaikka sementti on suhteellisen huokoista verrattuna esimerkiksi polymeereihin, ilmiöt yhdessä tuottavat hyvän tuloksen. Koska tulos riippuu kemiallisista reaktioista, se on herkkä erilaisille ei-toivotuille kemikaaleille, eikä niitä saa päästää jätteeseen. Näitä kemikaaleja voi olla mm. pesu- ja puhdistusaineissa

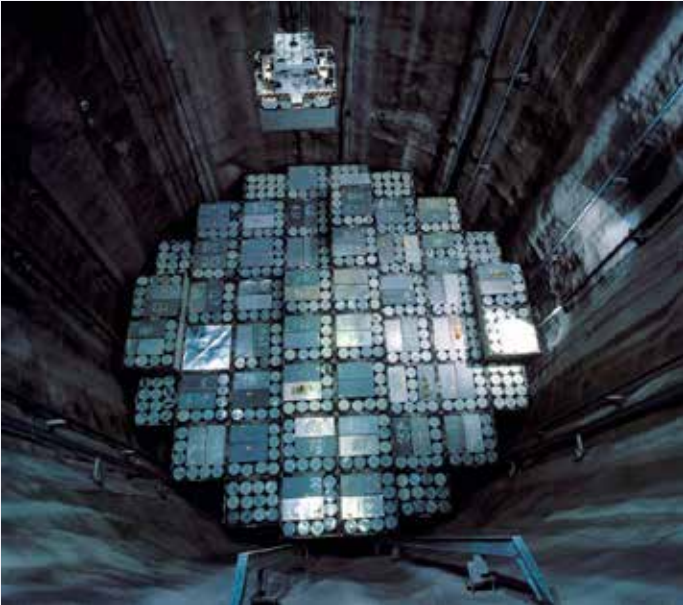
Parhaimmillaan sementti takaa pysyvän ja varman ratkaisun kiinteytykseen. Tästä on todisteena jo vuosikymmenien käyttökokemukset ja runsaasti tutkimustietoa. Menetelmää tultaneen käyttämään ja kehittämään jatkossakin. Sementtikiinteytyksessä jätteen tilavuus kuitenkin kasvaa tyypillisesti noin viisinkertaiseksi alkuperäisestä, koska hartsihuokkasten väliin pitää jäädä riittävästi sementtiä, ja usein prosessissa käytetään niin paljon vettä, että sementti jää huokoisemmaksi kuin optimiseossuhdetta käytettäessä. Sementtikiinteytyslaitoksen

rakentaminen voi olla kallista ja pitkäaikainen prosessi. Hankkeita on toki toteutettu myös kohtuukustannuksin ja – aikatauluihin.

Bitumikiinteytys – Auringonlaskun kiinteytysmenetelmä: Bitumikiinteytyksessä (Kuva 4) kuivattu hartsi sekoitetaan sulaan bitumiin. Bitumi ympäröi haitta-aineet, jähmettyy ja koska bitumilla on matala vedenläpäisevyys, radioaktiivisuus sitoutuu tiiviisti syntyvään lopputuotteeneseen. Suomessa bitumikiinteytystä käyttää Olkiluodon voimalaitos, jossa bitumikiinteytyslaitos kuului ASEA-Atom:n toimittamaan laitostekonaisuuteen. Laitteisto on esitetty Kuvassa 4.

Sementtikiinteytykseen verrattuna bitumikiinteytetty jäte vie noin puolet siitä loppusijoitustilasta, jota sama jäte veisi sementtikiinteytetynä. Bitumikiinteytyksen haittapuolena on bitumin suhteellisen heikko säteilynkesto ja jätteen turpoaminen, kun kuivattu hartsi imee itseensä vettä takaisin ympäristöstä. Lisäksi bitumin käsittelyyn liittyy paloturvallisuuskysymyksiä, toisin kuin sementtiin, joka on palamatonta.

Bitumikiinteytystä on käytetty käytännössä yhtä kauan kuin sementtikiinteytystäkin, mutta sitä pidetään yleisesti auringonlaskun menetelmänä. Yhtään uutta bitumikiinteytyslaitosta ei ole rakennettu pitkään aikaan ja mm. Ruotsissa bitumikiinteytys on korvattu usealla laitoksella sementtikiinteytyksellä. Tekniikkaa voidaan kuitenkin puutteineenkin pitää riittävänä, ainakin jos jäte loppusijoitetaan kalliooperään. Suomen ja Ruotsin bitumikiinteytyslaitosten tekninen elinikä alkaa olla kuitenkin jo iltapuolella, joten menetelmän vaihto voi tulla kiinnostavaksi, jos laitosten uusiminen osoittautuu kalliiksi ja jos tarjolla on parempia vaihtoehtoja.



Kuva 2. Loppusijoitettua jätettä Olkiluodon voimalan voimalaitosjätessii-
lossa (kuva: Hannu Huovila, TVO).



Kuva 3. Sementtiin kiinteitettyä ioninvaihtomassajätettä (ei radioaktiivi-
nen mallikappale) (kuva: Platom).

Polymeerikiinteytys – Vaihtoehto sementille ja bitumille: Kiinteytystä (orgaanisiin) polymeereihin on käytetty hartsien kiinteytyksessä myös pitkään, muttei niin laajalti kuin bitumia tai erityisesti sementtiä. Pisimpään menetelmää on käytetty Ranskassa, jossa sitä käytetään sementin rinnalla. Polymeerikiinteytyksen periaate on sama kuin bitumikiinteytyksessä, eli jäte ympäröidään tiiviillä matriisilla, mutta kiinteytymisprosessi on erilainen. Polymerisaatio saadaan yleensä aikaan huoneenlämmössä sekoittamalla monomeereja ja katalyyttiä, jolloin saadaan aikaan polymerisaatioreaktio. Polymerisaatiossa molekyylit liittyvät suoraan toisiinsa kemiallisin sidoksin muodostaen kolmiulotteisin verkkorakenteen. Yleisimmin radioaktiivisten jätteiden kiinteytyksessä käytettyjä polymeerejä on kahta perustyyppiä: polyesterit ja epoksi polymeerit. Lopputuotteen laatua ja kiinteytysprosessia, esimerkiksi kovettumisaikaa, voidaan laajalti säätää muuttamalla ainesosia ja niiden välisiä seossuhteita.

Polymeerikiinteytyksen etuna on alhainen vedenläpäisevyys ja korkea pakkaustiheys. Sementtikiinteytyksen tapaan, polymeerikiinteytys on herkkä kemiallisille haitta-aineille. Lisäksi polymeerikiinteytyksessä käytetyt kemikaalit (esimerkiksi trimetyylihexadiamiini, tMDA) voivat olla tulenarkoja ja haitallisia, esimerkiksi hengitettäessä tai iholle joutuessaan.

Haittoineenkin polymeerikiinteytys on osoittautunut hyväksi menetelmäksi ja sitä käytetään ja tullaan käyttämään tulevaisuudessakin, joten myös kehitykseen voidaan olettaa panostettavan.

Geopolymeerikiinteytys – Tulevaisuuden vaihtoehto: Geopolymeerikiinteytys on lupaava uusi kiinteytysmenetelmä, joka muistuttaa sementtikiinteytystä. Sementin ja veden sijaan käytetään emäsluosta ja hienonnettua alumiinisilikaattia. Seoksen asettuessa se polymerisoituu ja lopputuloksena on tiivis keraaminomainen aine. Toisin kuin sementti,

geopolymeerin kiinteytyminen ei perustu reaktioon veden kanssa, vaan polykondensaatioon, samaan tapaan kuin edellä mainitussa polymeerikiinteytyksessä.

Geopolymeeri muodostaa tiiviin ja kestävä matriisin ja jos siihen muodostuu halkeamia, ne pyrkivät kuroutumaan itsestään umpeen. Lisäksi etuina ovat hyvä säteilykesto, tuote ei juurikaan turpaa ja prosessissa ei tarvita (eikä vapaudu) lämpöä. Haittapuolena on matala, sementtikiinteytykseen verrattavissa oleva, pakkaustiheys.

Geopolymeerit eivät ole vielä laajasti käytössä radioaktiivisten jätteiden kiinteytyksessä, mutta sillä saavutettavien hyötyjen vuoksi menetelmään voidaan olettaa panostettavan tulevaisuudessakin.

Kuumakompaktointi – Lupaava vaihtoehto mutta vaikeuksissa: Kuumakompaktointi on menetelmä, jossa kuivatut hartsit kuumennetaan ja niitä puristetaan tynnyrissä, jolloin hartsin rakeet tai hiukkaset sitoutuvat toisiinsa muodostaen yhtenäisen monoliitin (pelletin). Menetelmä on sängen yksinkertainen ja suurena etuna muihin menetelmiin nähden jätteen tilavuus pienenee käsiteltäessä.

Kuumakompaktointi kehitettiin alun perin Saksassa 1980-luvulla Hansa Projekt Anlagentechnik -yhtiön toimesta, ja sittemmin se valittiin korvaamaan polymeerikiinteytys Belgiassa. Tihangen ydinvoimalaitos hankki tarvittavan laitteiston, joka koostuu korkean puristusvoiman puristimesta (ns. superkompaktori), johon on integroitu lämmitys. Laitteisto läpäisi testivaiheen mutta menetelmää ei aiota ottaa käyttöön. Belgiassa epäillään, että jäte turpaa pitkän ajan kuluessa, kun ioninvaihtohartsit ottaa takaisin kidevetensä. Pitkällisen prosessin jälkeen onkin jouduttu palaamaan lähtörutuun ja kiinteytysvaihtoehtoiksi pohditaan nyt sementtiä ja (orgaanisia) polymeerejä ja kuumakompaktoinnin tulevaisuus on tällä hetkellä epävarma.

Miten valita oikea ratkaisu?

Miten oikea kiinteytysmenetelmä tulisi sitten valita? Asiaa voisi lähestyä miettimällä vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

- Mitkä ovat olosuhteemme ja edellytyksemme, erityisesti loppusijoitusratkaisumme ja miten nämä tulee ottaa huomioon ratkaisussa?
- Mikä on olennaista pitkäaikaisturvallisuuden kannalta ja miten todistamme sen?
- Mitä arvoa laitamme kustannuksille, mukaan lukien menetelmään investointi ja sen käyttö, sekä loppusijoitus ja siinä mahdollinen tilavuuden säästö?
- Miten valita koetellun ja innovatiivisen välillä?
- Pitäisikö vain pelata aikaa ja antaa muiden tehdä virheet ja oppia niistä?

Vastausten punnitseminen auttaa löytämään oikean vastauksen, mutta helppoa se ei silti ole. Eri asioiden painottaminen antaa eri vastauksen, eikä yhtä autuaaksi tekevää kaavaa ratkaisulle ole.

Mikä siis on nykykokemuksen mukaan paras kiinteytystekniikka Suomen laitoksille? Olkiluodon voimalaitoksen bitumointia voidaan pitää riittävänä ja koska tekniikan muuttaminen edellyttäisi suuren mittakaavan muutostöitä, olisivatko tekniikan vaihdon myötä saavutettavat hyödyt riittävät? Mitä taas tulee Loviisan voimalaitoksen juuri käyttöön ottamaan LOKIT-laitokseen, oltaneen melko varmoilla vesillä, eikä sementtikiinteytykselle (vielä) ole selkeää parempaa vaihtoehtoa. Suomessa olevilla laitoksilla ei siis ole välitöntä tarvetta tehdä suuria muutoksia kiinteytyksen suhteen. Koska ydinvoimayhtiöt ovat kuitenkin sitoutuneet jatkuvan parantamisen periaatteeseen toiminnanohjausjärjestelmiensä ja yleisen turvallisuuskulttuurin kautta, alan kehitystä tulisi seurata tiiviisti. Vaihtoehtojen systemaattinen punnitseminen on tarpeen ja jos tarjolla olevat parannukset peittoavat konservatismien edut, uuteen päätökseen pitää olla valmius. Tämä, vaikka käytettyyn polttoaineeseen liittyvät kysymykset hallitsisivatkin keskustelua ydinjätehuollon ratkaisuista.



Kuva 4. Bitumikiinteytyslaitteisto (kuva: TVO).

Kirjoittajat



Ins. (AMK), Tero Lytsy

Tiiminvetäjä, Ydinjätehuolto ja ydinlaitosten purku
Platom Oy
tero.lytsy@platom.fi



DI, Timo Siiskonen

Asiantuntija, Ydinjätehuolto ja ydinlaitosten purku
Platom Oy
timo.siiskonen@platom.fi

Master's thesis: Ex-Vessel Steam Explosion Analysis with MC3D

Magnus Strandberg
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

A steam explosion is a fast fuel-coolant interaction that might occur if a severe accident scenario proceeds to the late-phase, which includes both core degradation and melt relocation. It is of importance in safety research of severe accidents as it could possibly cause loss of safety barriers, leading to an early release of fission products. The focus in the thesis was on the type of steam explosion known as an ex-vessel steam explosion which could occur if the reactor pressure vessel breaks and molten core material is released into the containment.

Höyryräjähdys on sydänsulan ja jäähdytteen nopeaa vuorovaikutusta, joka voi ilmetä vakavan onnettomuuden myöhäisessä vaiheessa, kun sydängeometria on menetetty ja sydänsula vapautuu. Höyryräjähdys voi aiheuttaa vapautumisesteiden vaurioitumisen ja johtaa fissiotuotteiden aikaiseen vapautumiseen. Tässä työssä keskityttiin paineastian rikkoutuessa suojarakennuksen tulvitetussa alakuiatilassa potentiaalisesti tapahtuviin höyryräjähdysiin.

A steam explosion is an extreme form of a Fuel Coolant Interaction (FCI), which might occur when molten fuel fragments into water and forms an instable liquid-vapour-liquid system. This instable system might collapse locally inducing a propagating shock wave which collapses the rest of the system. This in turn leads to a rapid transfer of thermal energy into mechanical energy in the form of an explosion.

Background

Steam explosions have three distinct stages: premixing, triggering and propagation. In the premixing stage, illustrated in Figure 1, the molten corium is fragmented into the coolant due to thermohydraulic forces. A large portion of the corium forms molten drops suspended in the coolant by vapour film. This instable liquid-vapour-liquid system is locally collapsed by a triggering pulse. If the mixture properties are favourable, the trigger propagates in the mixture collapsing all the melt drops so that the thermal energy of the melt is almost instantly transferred to the coolant causing instantaneous high pressure increase. Steam explosions are classified after the location they occur: either ex- or in-vessel.

The effect of an ex-vessel steam explosion was analysed with MC3D that is a multidimensional Eulerian code capable of simulating multiphase and multi-constituent systems. It is being developed by IRSN and CEA. To evaluate explosion likelihood, the internal MC3D parameter, explosivity, was used. To assess the explosion strength, dynamic load on the cavity wall was checked. Simulations were made to analyse the effect of different triggering times on a standard case with central break location. In addition to this a sensitivity analysis was conducted to find the parameters having the largest effects on a steam explosion.

Results

The results showed that as long as the mixture is triggerable, resulting explosions are fairly similar. However, in cases with really low explosivity the mixture did not ignite. Different side break scenarios were also tested but in those cases the mixture did not trigger. Further analyses showed that this was most likely due to problems with the model and not that the side break scenarios are unable to result steam explosions.

The sensitivity analysis was done for melt temperature, coolant sub-cooling, cavity water level and melt drop size. The results showed that the

DB: silo_Time_0073
 Cycle: 73 Time:3.68242

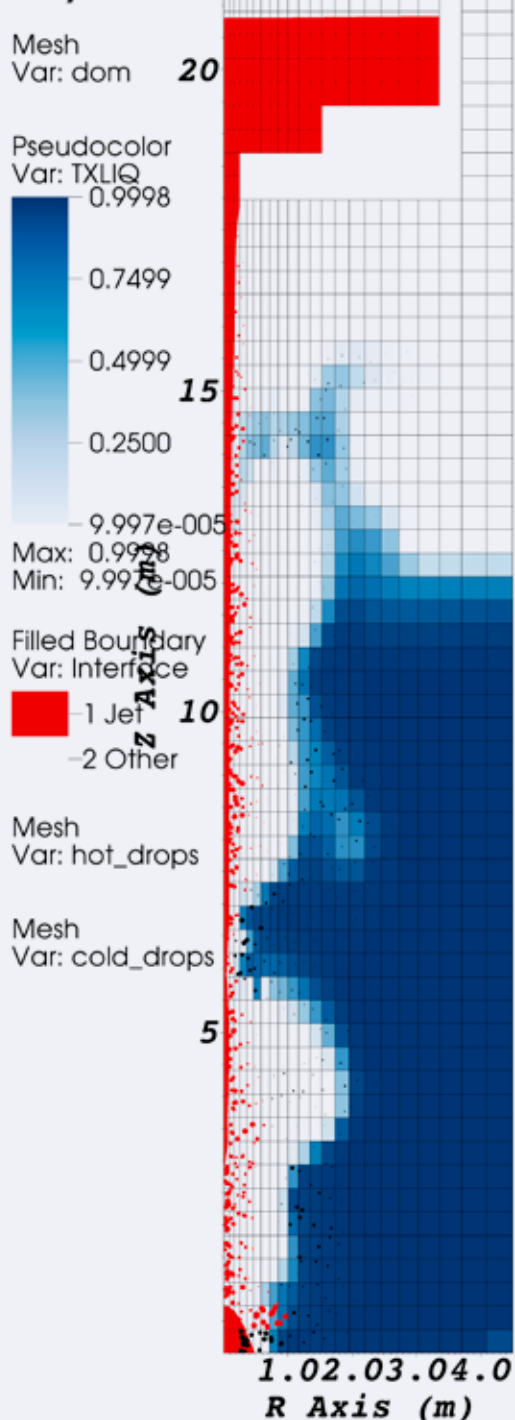


Figure 1. An example of the premixing condition. Red dots indicate molten hot drops and black dots solidified cold drops.

parameter with the strongest effect is the drop size. Larger drop sizes resulted much stronger explosions. The drop size is mostly affected by the density of the melt: lower density has been shown to result larger drops.

Increasing melt temperature did not result in stronger explosion as long as the melt was superheated. This is because the melt does not have time to cool down enough in the short fragmentation time. However, as a whole the melt temperature has a large impact as cases with melt close to the liquidus temperature did not explode at all. This is because big part of the melt drops solidifies already in the premixing being unable to take part to the further fragmentation in the explosion stage.

The remaining parameters did not clearly affect on the strength of the explosion. Although higher water levels had a slightly stronger explosion than lower levels, as the melt had more room to fragment.

The Master's thesis was accepted on November 25th, 2016 at the Aalto University School of Science.

Writer



Magnus Strandberg, M.Sc. (Tech.)
 Research Scientist

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd
 magnus.strandberg@vtt.fi

Väitös: Laadukkaampia reaktorifysiikan epävarmuusarvioita

Risto Vanhanen
Teollisuuden Voima Oyj

Väitöstyössä sovellettiin epävarmuusanalyysiä reaktorifysiikkaan sekä kehitettiin laadunvarmistusmenetelmiä ydinvakioiden epävarmuusarvioille. Menetelmillä voidaan havaita epäfysikaaliset epävarmuusarviot ennen niiden julkistamista ja niitä voidaan soveltaa myös muihin matemaattisesti vastaaviin suureisiin.

Uncertainty analysis was applied to reactor physics in the Thesis. Also two quality assurance methods were developed for uncertainty estimates of nuclear data. The methods can be used to detect unphysical uncertainty estimates before their publication and the methods can also be applied to other, mathematically similar, quantities.

Ydintekniikan alalla mallien epätäydellisyys ja niiden parametrien epävarmuudet on perinteisesti huomioitu käyttäen konservatiivista lähestymistapaa, jossa kukin tapaus analysoidaan turvallisuuden kannalta epäedullisella mallilla ja epäedullisilla mallin parametreilla. Aina ei kuitenkaan ole selvää mitkä parametrimuutokset vievät tulossuureita konservatiiviseen suuntaan ja, mikäli useampi tulossuure on merkittävä, yhtä aikaa kaikkien tulossuureiden suhteen konservatiivisia parametriyhdistelmiä ei välttämättä ole edes olemassa.

Nykyään kuitenkin viranomainen sallii joissakin tapauksissa niin sanotun parhaan arvion käytön, kunhan lähtötietojen epävarmuudet on huomioitu analyysissä. Tällöin lopputuloksena on tulossuureen paras,

usein realistinen, arvio ja epävarmuusanalyysin tuottama arvio tulossuureen arvion tarkkuudesta.

Historia ja nykytila

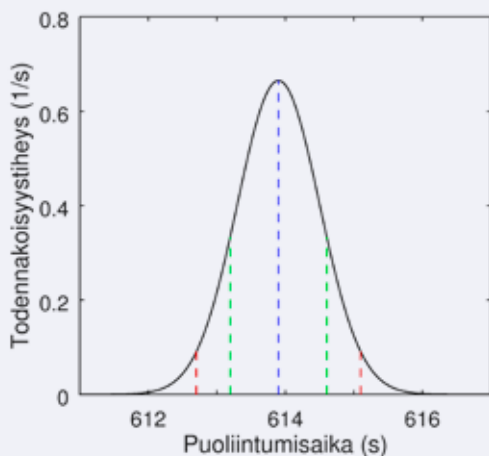
Ydinvakioita – jotka eivät nimestään huolimatta ole aina vakioita – käytetään reaktorifysikaalisissa malleissa parametreina. Ensimmäiset ydinvakioiden epävarmuusarviot julkaistiin jo 1975, mutta tutkijoiden, teollisuuden ja viranomaisten kiinnostus analyysien lopputulosten tarkkuuksia ja näiden laskemisen mahdollistavien parametrien epävarmuusarvioita kohtaan kasvoi merkittäväksi vasta 2000-luvulla. Ydinvakioita arvioivat tahot ovatkin tehneet huomattavan määrän ydinvakioiden epävarmuuksien arviointia tällä vuosituohannella. Kuitenkin vielä eräillä tällä vuosikymmenellä julkaistuista ydinvakiokirjastoista puuttuu epävarmuusarvioita merkittävienkin nuklidien keskeisiltä suureilta.

Tietämyksen ja epävarmuuden kuvaaminen

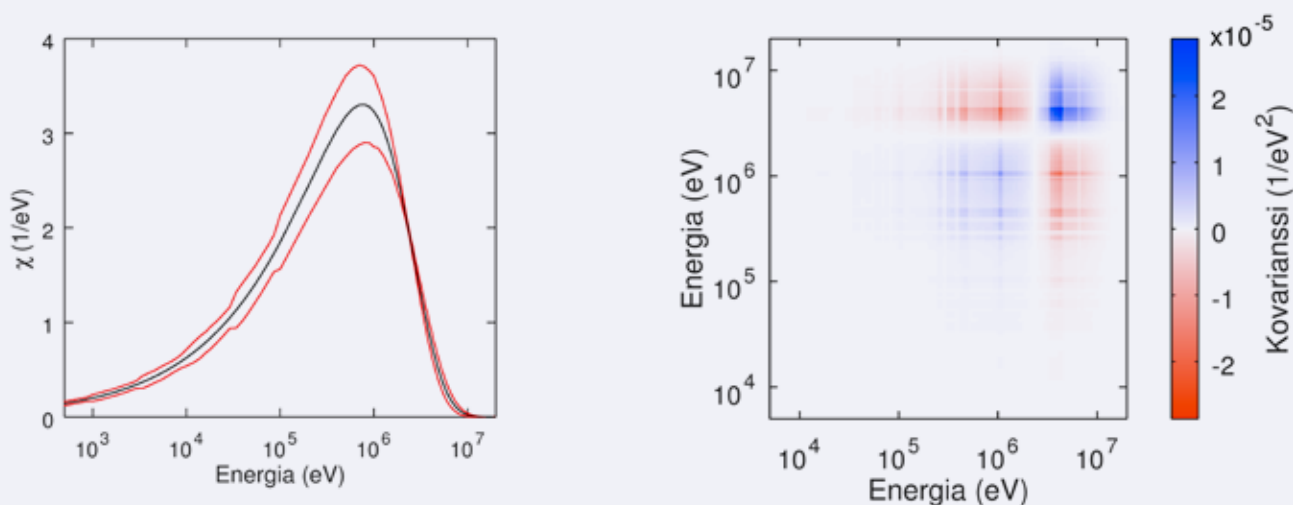
Epävarmuusanalyysi tarvitsee lähtötiedoikseen mallin parametrien epävarmuudet. Toisin sanoen, se tarvitsee kuvauksen mallin parametrien epävarmuudesta. Epävarmuus johtuu tietämyksen puutteesta, joten riittää kuvata tietämyksemme mallin parametreista.

Tietämys suureista kuvataan usein moniulotteisella todennäköisyysjakaumalla. Jakaumasta voidaan muun muassa laskea todennäköisyydet sille, että suureiden todelliset arvot ovat kussakin annetussa alueessa. Näiden todennäköisyyksien mielekkäys onkin keskeisessä roolissa tietämystämme kuvaavaa jakaumaa valittaessa: mikäli jakauman implikoimat todennäköisyydet eivät ole mielekkäitä, tulee jakaumaa muuttaa niiltä osin. Jakauman käyttö mahdollistaa myös todennäköisyysteorian soveltamisen.

Tietämyksen kuvaamista todennäköisyysjakaumalla on havainnollistettu 1-dimensioisella esimerkillä kuvassa 1. Kyse ei kuitenkaan ole meidän



Kuva 1. ENDF/B-VII.1:n arvioijan tietämys neutronin puoliintumisaikasta. Paras arvio on esitetty sinisellä, ja todennäköisyys sille, että todellinen arvo on vihreiden (punaisten) viivojen välissä on 76,1 % (95,4 %). Todellista arvoa ei tunneta.



Kuva 2. ENDF/B-VII.1:n arvioijan tietämys kalifornium-252:n termisessä fissiossa syntyvien neutronien energijakaumasta: (a) ensimmäinen momentti mustalla (kullakin energialla todellinen arvo on punaisten viivojen välissä 68,3% todennäköisyydellä) ja (b) toinen keskusmomentti.

tietämyksestämme, vaan suureen arvioineen henkilön tietämyksestä. Tämäkin tietämystä kuvaava jakauma voidaan tulkita riippumattomaksi osaksi laajempaa, kaikkea relevanttia tietoa kuvaavaa, jakaumaa.

Reaktorifysiikan sovelluksissa moniulotteisia todennäköisyysjakaumia tarvitaan kuvaamaan muun muassa energiasta riippuvien suureiden epävarmuuksia. Jotta pysyttäisiin äärellisessä määrässä dimensioita, tämä vaatii itse asiassa approksimaation: esimerkiksi jatkuvaenergisien suureen voi mallintaa approksimatiivisesti monena suureena, jotka kuvaavat haluttujen energiavälien keskiarvoja. Tällöin jatkuvaenergisien suureen muoto oletetaan tunnetuksi kussakin energiavälissä. Tämä on itse asiassa ENDF-6 -kuvauksen lähestymistapa. Kuvassa 2 on havainnollistettu tällaista tapausta. Jo näissä moniulotteisissa tapauksessa jakaumien määrittäminen mittaustuloksista ja niiden visualisointi on huomattavasti hankalampaa kuin yksidimensioisessa tapauksessa. Sen vuoksi kuvassa 2 tyydytäänkin esittämään jakauman keskiarvo ja kovarianssit.

Yleisesti käytössä olevissa ydinvakio kirjastoissa ei kuvata suoraan ydinvakioiden arvioijien tietämystä kuvaavia jakaumia, vaan annetaan approksimaatio näiden jakaumien kahdesta ensimmäisestä momentista eli jakauman keskiarvosta ja kovariansseista. Näiden momenttien lisäksi ydinvakiotiedoston tyyppillinen käyttäjä tietää eräiden suureiden olevan ei-negatiivisia ja että eräät suureet ovat johdettavissa muista tiedoista (ks. kuva 3) ja siten redundanttisia.

Tyyppillisen käyttäjän tiedot eivät kuitenkaan harmillisesti määrää tietämystä kuvaavaa jakaumaa yksikäsitteisesti, vaan tiedot riittävät ainoastaan määräämään perheen jakaumia. Koko jakauma voidaan tällöin määrittää mielekkäästi käyttäen informaatioteorian suurimman entropian periaatetta. Periaatteella voidaan konstruoida jakauma, joka sisältää tunnetut tiedot, mutta ei muuta - tyhjistä tullutta - informaatiota. Käytännössä jakauma on usein liian hankala, joten sitä joudutaan approksimoimaan tai osa tiedoista joudutaan hylkäämään.

Epävarmuusanalyysi

Epävarmuusanalyysin tärkein tavoite on määrittää tulossuureiden epävarmuudet. Tällöin riittää selvittää tulossuureiden tietämystä kuvaavat jakaumat, joita voidaan tulkita kuten muidenkin suureiden tietämystä kuvaavia jakaumia.

Tulossuureiden jakaumat voidaan määrittää monella tavalla. Tilastollisessa tavassa mallien parametrien jakaumista otetaan näytteitä, joista lasketaan normaalisti käytössä olevalla mallilla tulossuureet. Riittävän monella näytteellä tulossuureiden tietämystä kuvaavasta jakaumasta saadaan laskettua erilaisia tunnuslukuja ja jopa visualisoitua itse jakaumaa. Tulossuureiden jakauman voi selvittää myös approksimatiivisesti käyttäen erilaisia deterministisiä menetelmiä. Kumpikaan lähestymistapa ei kuitenkaan näin kuvattuna huomioi malliin sisältyviä epävarmuuksia.

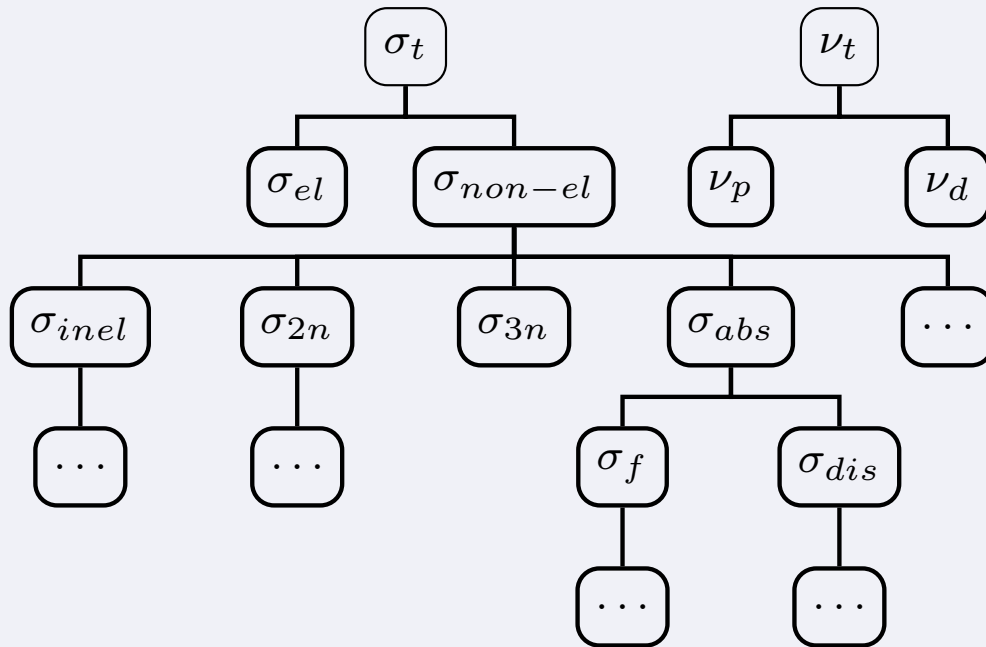
Epävarmuusanalyysin toinen tärkeä tavoite on selvittää, minkä parametrin epävarmuudesta aiheutuu suurin epävarmuus kuhunkin tulossuureeseen. Mikäli lähtötietojen epävarmuudet ovat suuria, tämä ei kuitenkaan ole aina suoraviivaista, koska tulossuureessa havaittua epävarmuutta ei aina voida perustellusti allokoitua vain yksittäisen lähtösuureen epävarmuudesta johtuvaksi.

Laadunvarmistusmenetelmiä

Epäfyysikaalisten epävarmuusarvioiden johdosta epävarmuusanalyysin lopputuloksena saattaa olla esimerkiksi kummallisia tuloksia tai jopa imaginäärinen luottamusväli. Tällöin kyseessä on niin sanottu garbage in, garbage out -tilanne. Väitöstyön keskeisiä tuloksia ovat kaksi laadunvarmistusmenetelmää, joilla voidaan huomata epäfyysikaaliset epävarmuusarviot ennen kuin niitä käytetään epävarmuusanalyysien lähtötietoina.

Ensimmäisellä laadunvarmistusmenetelmällä voidaan havaita kovarianssimatriisien negatiiviset ominaisarvot. Harmillisesti näitä esiintyy joissakin epävarmuusarvioissa, kuten esimerkiksi kuvassa 2b, joskin sitä on hankala havaita suoraan kuvasta. Kovarianssimatriisin ominaisarvo on eräänlainen yleistetty varianssi, jonka negatiivisuus vastaa sitä, että arvioija väittäisi ei-negatiivisen suureen arvon olevan negatiivinen. Laadunvarmistusmenetelmällä nämä voidaan havaita ja eräissä tapauksissa jopa korjata.

Toisella laadunvarmistusmenetelmällä voidaan havaita, toteuttavatko epävarmuusarviot niin sanotut summasäännöt. Kuvassa 3 on esitetty osa ENDF-6 -kuvauksen summasäännöistä. Väitöstyön aikana ymmärrettiin, että nämä relaatiot pätevät ensimmäisen momentin lisäksi



Kuva 3. ENDF-6 muodon mukaiset summasäännöt esitettynä kahdessa erillisessä puussa. Kukin suure on osiensa summa. Esimerkiksi kokonaisvaikutusala on elastisen sironnan ja ei-elastisen vuorovaikutuksen vaikutusalojen summa. Toisena esimerkkinä kokonaisvaikutusalan itseiskovarianssi on summa kokonaisvaikutusalan ja elastisen sironnan sekä kokonaisvaikutusalan ja ei-elastisen sironnan kovariansseista. Puut jatkuisivat kohdissa, jossa on kolme pistettä.

myös toiselle momentille eli kovariansseille. Kaikki nykyisten ydinvaikokirjastojen epävarmuusarviot eivät valitettavasti ole summasääntöjen mukaisia. Laadunvarmistusmenetelmällä voidaan todeta toteuttaako annetut kovarianssit kyseiset summasäännöt sekä korjata puutteet eräissä tapauksissa.

Laadunvarmistusmenetelmien kehityksen motiivina olivat ydinvaikokirjastoista löydetyt epäfysikaaliset epävarmuusarviot. Parhaassa tapauksessa ydinvaikoiden arvioijat käyttävät kehitettyjä menetelmiä, jolloin virheet voidaan huomata ja korjata ennen tietojen julkistamista. Menetelmiä voidaan soveltaa myös muihin matemaattisesti vastaaviin suureisiin.

Väitöstilaisuus pidettiin 29.4.2016 Aalto-yliopistossa. Vastaväittäjänä toimi professori Guillem Cortés UPC:lta (Politechnical University of Catalonia). Väitöskirja on luettavissa sähköisessä muodossa osoitteessa <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-6730-8>.

Kirjoittaja



TkT Risto Vanhanen
Reaktori-insinööri
Teollisuuden Voima Oyj
risto.vanhanen@tvo.fi

Voisiko turvallisuuksien kirjoa ymmärtää ja sen hallintaa parantaa väriluokituksella?

TURVALLISUUKSIEN ERI LAJEJA on kielikuvalla ilmaisten määrältään ”pilvin pimein” ja moninaisuudessaan kuin ”sateenkaareissa värejä”. Pilvi-ilmaisusta syntyy mielikuva, kuinka eri tyyppiset ja kokoiset turvallisuuden lajit ovat kuin yhtä pilveä. Niitä on niin valtavan paljon, että taivas niistä pimentyy ja ne ovat toisistaan erottamattomissa ja tunnistamattomissa. Sateenkaari-ilmaisustakin saa mielikuvan jostain loputtomasta, käsittämättömän suuresta asioiden määrästä, mutta myös eri väreihin ja niiden kirkkauteen ja sävyyn perustuen asioiden keskinäisestä erilaisuudesta ja ryhmiteltävyydestä eri alalajeiksi. Värikoodaus siihen soveltuvin mahdollisin apukeinoin on monessa aihepiirissä hyödyllinen lisätökalu sanallisen viestinnän ja tiedon havainnollistamisessa, tulevaisuudessa miksi-pä ei myös turvallisuus-aihepiirin hahmottamisessa, hallinnassa ja ymmärtämisessä.

Kerran vuosia sitten lainasin kirjastosta oikeusfilosofian oppikirjan. Lueskelin siitä flunssaa karkoittaakseni oikeustieteellisten termien merkityksiä, oli hyvä unilääke. Muun muassa sanalle ”rikos” löytyi lukuisia eri merkityksiä. Oli paras viedä kirja takaisin, meni liian vaikeaksi. Kirjastossa sitten seisoskelin filosofian hyllystöllä ja lehteilin muita opuksia, kun en halunnut kuitenkaan heti luovuttaa. Lääketieteen filosofian kirjassa sanalle ”normaali” löytyi toistakymmentä eri merkitystä. Se riitti filosofiasta sillä erää. Oli silloin muutenkin tekemistä. Nyt kun elämän kiireisten ruuhkavuosien jälkeen katselen maailmaa turvallisuusfilosofin silmälasien läpi, niin olen taas

innostunut tutkimaan sanoja ja niiden merkityksiä älyllisenä harrastuksena. ”Turvallisuus” on tosi mielenkiintoinen sana, selkosuomea mutta sittenkin ja vallankin yhdyssanan osana ja eri määreillä varustettuna monikäsitteisen epäselko.


Miksi niin? Myös turvattomuus on turvallisuutta, sen negatiivista osiota, turvallisuusvajeeksikin mainittua. Jotkut seikat ovat turvallisuuteen kiinteästi liittyviä asioita tai ne koetaan sellaisiksi, vaikkapa luottamus ja koitoa. Vastaavasti selvä kytkös turvattomuuteen on seikoilla kuten vaikkapa pelko ja outo. Asiaa voisi hahmottaa kuvitteellisella käsitteellä ”turvallisuusmatto”. Se olisi jalkojen alla tukeva turvallisissa kohdin mutta hyllyvä turvattomissa kohdin. Eri ihmisille ja eri yhteisöille tietystikin eri lailla, samoin eri turvallisuuden lajeille ja niiden kokoluokille, mitään yleissääntöä ei ole. Kuinka elää elämänsä ja toimia tuollaisella matolla? Lopulta jokainen yksilö kantaa vastuun itsestään. Hän toimii parhaan osaamisensa ja käsityksensä mukaan pyrkiessään pääsemään tukevalle eli turvallisuudelle osalle mattoa. Yhteisönkin toiminta purkautuu viime kädessä yksilöiden toimiksi.

Miten sitten eri turvallisuuden lajeja voisi luokitella eri värien ja värisävyjen mukaan? Taaskin itse kullakin tulisi lopulta olla oma henkilökohtainen tiekarttansa. Mutta yleisellä tasolla voisi olla jotain kaikille yhteistä. Asiat, joihin yksilö ei juurikaan voi omilla toimillaan ja suhtautumisellaan vaikuttaa, voisivat olla jotain tiettyä väriä, sen eri sävyjä. Vastaavasti

asioille, joihin hän omassa elämässään voi hyvin vaikuttaa, olisi joku toinen väri ja sen sävyt. Myös enemmän tai vähemmän vähämerkityksisille asioille olisi oma värinsä ja sen sävyt. Jo tuollainen luokittelu ohjaisi suunnistajaansa.

Väriavaintojen tulisi luonnollisestikin olla johdonmukaisia ja linjassa yleisesti yhteiskunnassa käytössä olevaan väreillä luokitte luun. Esimerkiksi käy liikenne, missä punainen on kiellettyä ja vaarallista ja vihreä sallittua ja turvallista.

Asian kokoluokan perusteella voisi myös yrittää tehdä ”yleistä turvallisuusmattoa”. On megakoon asioita, globaaleja, pitkän aikavälin asioita. Vastaavasti on pieniä, paikallisia, hetkellisiä, pientä joukkoa koskevia asioita. Kekseliäisyyttä vaan peliin, jotta asioita voisi väreihin ja niiden värisävyihin hahmottaa entistä paremmin ja havainnollisemmin! Ja kun vauhtiin pääsee, niin miksi jäisi vain väriluokittelun tasolle? Strategiana tulisi olla isojen kokonaisuuksien hahmottaminen, hallinta ja ymmärtäminen. Luonnollisestikin kirjallinen informaatio on pohjimmaisena perustana, mutta sitä voi parantaa monin lisäkeinoin. Värien lisäksi esimerkiksi äänillä ja niiden voimakkuuksilla, ylipäättään musiikin keinoin ja myös elävällä kuvalla.

Tarvitaan luovuutta, aikaa ajatteluun, mielikuvitusta, kyseenalaistamista, ennakkoluottomuutta, rohkeutta, sitkeyttä, intohimoa, poikkitieteellisyttä ja muita uuden luomiseen tarpeellisia ominaisuuksia ja resursseja, niin hyvä siitä tulee. Saataisiin turvallisuus-käsite standardisoinnin tien alkuun. Ja siitä sitten ajan kanssa selkeäksi tiekartaksi. 

Palautusosoite:

Suomen Atomiteknillinen Seura
PL 78
02151 ESPOO



KANNATUSJÄSENET

B+Tech Oy

**Pohjoismainen
Ydinvaruutuspooli**

**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