

ATS YDINTEKNIikka

2/2025

Vol. 54

ATS:N EKSKURSIIO KAINUUSEEN

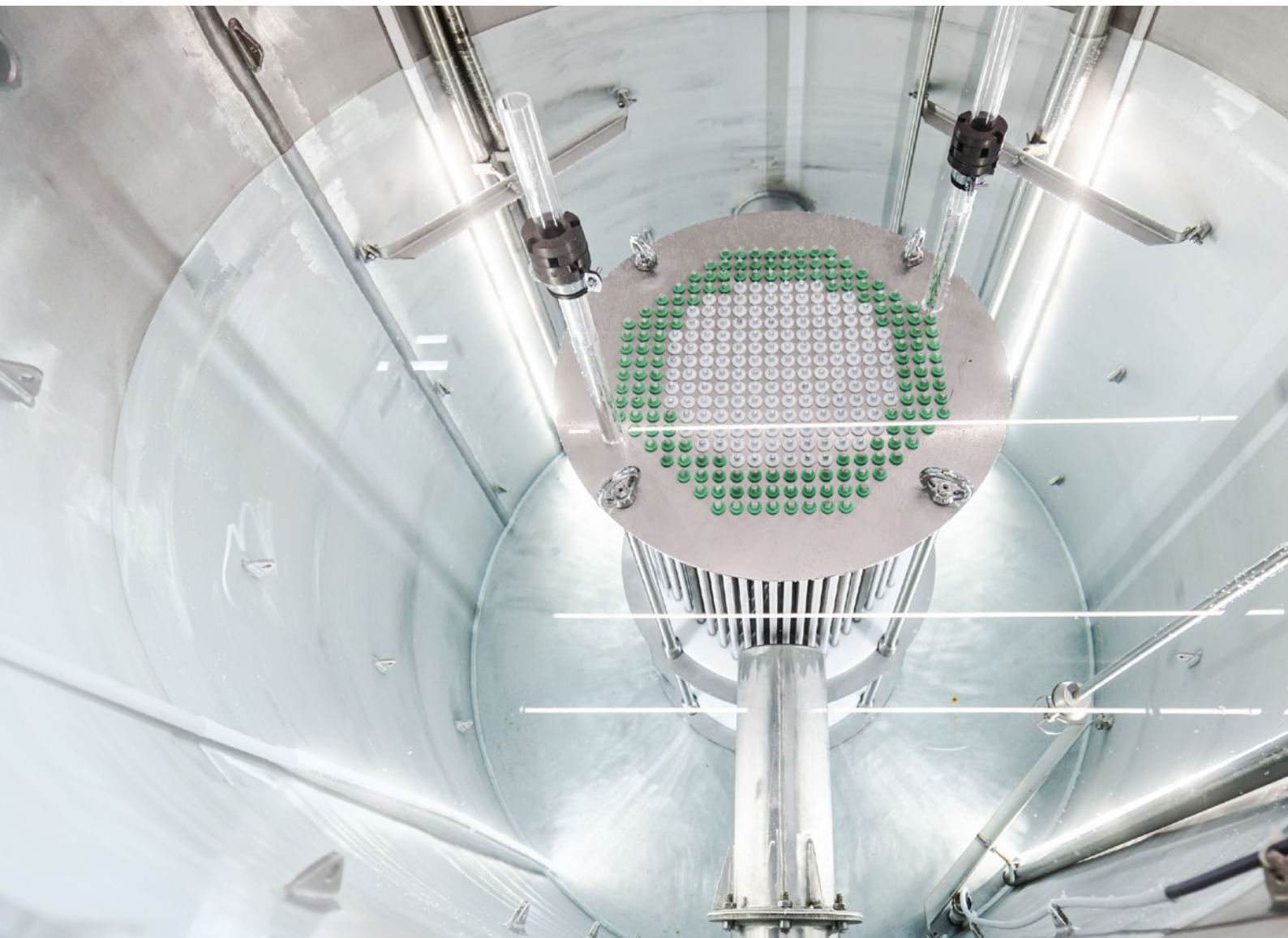
Seura järjesti huhtikuussa kotimaan ekskursion, jolla vierailtiin Terrafamen kairoksella sekä Tieteen tietotekniikan keskuksen LUMIsupertietokoneella.

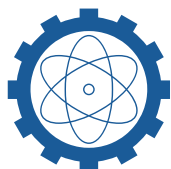
ISON-BRITANNIAN YG VIERAILI SUOMESSA

Kaksikymmentä ydinalalla toimivaa brittinuorta vieraili viikon ajan Suomessa tutustumaan ydinalaitoksiin, kulttuuriin sekä samanikäisiin kollegoihin.

MIILU HERÄSI HENKIIN

Otaniemen alikriittisessä reaktorissa 50 vuotta sitten käytetyt uraanisauvat monistavat nyt neutroneita Prahan teknillisen yliopiston VR-2-laitteessa.





ATS YDINTEKNIikka

Julkaisija / Publisher

Suomen Atomiteknillinen Seura – Atomtekniska Sällskapet i Finland r.y.

www.ats-fns.fi

Johtokunta / Board

Puheenjohtaja / President

DI Hanna Tynys

puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja / Vice President

TkT Antti Hakola

antti.hakola@vtt.fi

Sihteeri / Secretary General

FM Tommi Lyytinen

sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Topi Tupasela

topi.tupasela@stuk.fi

Jäsenet / Board Members

PhD René Bes

rene.bes@helsinki.fi

FT Jani Huttunen

jani.huttunen@tvo.fi

Dos. Taina Kurki-Suonio

taina.kurki-suonio@aalto.fi

TkT Jaakko Leppänen

jaakko.leppanen@vtt.fi

DI Janne Valkonen

janne.valkonen@platom.fi

Toimihenkilöt / Functionaries

ATS Young Generation

DI Roope Lipiäinen

roope.lipiainen@fortum.com

Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

MSc Ana Jambrina

ana.jambrina@vtt.fi

Women in Nuclear Finland

FM Jenna Levo

jenna.levo@tvo.fi

Www-vastaava / Webmaster

DI Teemu Sällylä

webmaster@ats-fns.fi

ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkT Riitta Kyrki-Rajamäki

rkyrki@gmail.com

Toimitus / Editors

Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

TkT Jarmo Ala-Heikkilä

jarmo.ala-heikkila@aalto.fi

Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

FT Antti Rätty

antti.ratty@vtt.fi

Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

DI Tapani Raunio

tapani.e.raunio@fortum.com

Ulkoasu ja taitto / Layout

Katariina Korhonen, Creatus

katariina@creatus.fi

Toimitus / Editorial Staff

FM Sophie Haapalehto

sophie.haapalehto@posiva.fi

DI Klaus Kilpi

klaus.kilpi@gmail.com

DI Unna Lauranto

unna.lauranto@vtt.fi

TkT Henri Loukusa

henri.loukusa@gmail.com

DI Aleks Savolainen

aleksi.savolainen@tvo.fi

FT Mervi Söderlund

mervi.soderlund@fortum.com

TOIMITUKSEN YHTEYSTIEDOT

ATS Ydintekniikka

c/o Jarmo Ala-Heikkilä

PL 15600

00076 Aalto

p. 050 433 1198

Painopaikka

PunaMusta Oy, Espoo

ISSN-0356-0473

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

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.



MONIMUOTOISUUTTA KAIKEN UHALLAKIN

Suomen Työterveyslaitos toteaa: "Organisaation monimuotoisuus ja inklusiivisuus tuovat mukanaan kattavan hyötypaletin, johon kuuluu muun muassa luovuutta, työhyvinvointia, taloudellista kannattavuutta ja hyvää mainetta". Kun päätoimeni on yliopistomaailmassa, niin pääsen todistamaan tätä käytännössä päivittäin.

Monimuotoisuus tuo tietenkin mukanaan myös haasteita. Perustasolla kyse on yhteisen kielen löytämisestä ihmisten kesken, ja nykypäivänä valinta on oletusarvoisesti englanti. Yliopistojen ja sen seurannaisena tutkimuslaitosten työkieli onkin vaihtunut kotimaisista vaihtoehdoista lingua francaksi.

Kielivalinnassa ydinenergia-alan viranomaiset sekä suurimmat yritykset ovat vielä vahvasti kotimaisten kielten käyttäjiä. Vaikka lait ja asetukset jatkossakin kirjoitetaan suomeksi ja käännetään ruotsiksi, jollain aikataululla on kuitenkin hyvä alkaa varautua siihen, että ydinalan organisaatioissa on töissä asiantuntijoita, joiden kanssa kommunikointi sujuu varmimmin englanniksi.

Tässähän ei ole sinänsä mitään uutta esimerkiksi ydinvoimalaitosten vuosihuolloissa työskennelleille. Eri huoltotehtävissä toimivilla on yhteensä kymmeniä äidinkieliä, mutta ohjeistukset saadaan silti menemään perille. Suomalaisten ydinvoimaloiden käyttökertoimet eivät varmaan muuten olisi pysyneet kansainvälisellä huipputasolla.

Lopuksi haluan vielä lämpimästi onnitella Lappeenrannan-Lahden teknillisen yliopiston LUT:n ydintekniikan laboratoriota: tänä keväänä heillä tuli täyteen 50 vuotta ydinturvallisuuden tutkimusta, mitä juhlistettiin seminaarissa ja illallisella 22.5.2025. Mukavana yhteensattumana ATS-Seniorien ryhmä kävi ekskursiolla LUT-yliopistossa pari kuukautta aikaisemmin. Seniorien ansiosta saamme tästä lehdestä lukea ajantasaisen esittelyn LUT-yliopiston kokeellisesta tutkimuksesta.

Jarmo Ala-Heikkilä
Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

VAKIOPALSTAT

PÄÄTOIMITTAJALTA	
Monimuotoisuutta kaiken uhallakin	3

PÄÄKIRJOITUS	
Ydinvoiman tulevaisuutta muokkaamassa – yhdessä Suomalaisen Ydintekniikan Päivillä 2025	4

EDITORIAL	
Shaping the Future of Nuclear – Together at Finnish Nuclear Science and Technology Symposium 2025	5

KOLUMNI	
"Luota mutta verifioi"	39

PAKINA	
Ylivoima ja ydinvoima sekavassa maailmassa	42

TAPAHTUMAT

ATS tutustui uraanintalteenottoon ja suurteholaskentaan	6
UK Young Generation Visit to Finland	9
SMR Business Day 2025	12
Seniorien rautainen retki Lappeenrantaan – nykytutkimusta ja historiaa	15
Vuosikokous 2025 Tieteiden talolla	21

AJANKOHTAISTA

Otaniemen miilu herää henkiin Prahassa	25
Innovointia ydinvoimalaitoksen perusratkaisuista	28

TIEDE JA TEKNIikka

Diplomityö: Päästönopeuden määrittäminen ympäristön säteilymittausten annosnopeusnäyttämän avulla valmiustilanteessa	30
Sanni Tyni	
Diplomityö: Luvanhaltijan turvallisuuden arviointi muuttuvassa säännöstöympäristössä	33
Sonja Töyrylä	
Diplomityö: Diverttorialueella sijaitsevien merkki-näytteiden eroosion ERO2.0-mallinnus ASDEX Upgradella suoritettussa L-moodin kokeessa	36
Samuli Saari	

YDINVOIMAN TULEVAISUUTTA MUOKKAAMASSA – YHDESSÄ SUOMALAISEN YDINTEKNIIKAN PÄIVILLÄ 2025 (SYP 2025)

Teema: Ydinenergiaekosysteemit

Tänä vuonna minulla on suuri ilo toimia Suomalaisen Ydintekniikan Päivien 2025 (SYP 2025) järjestelytoimikunnan puheenjohtajana – tapahtuman, jota olen aina pitänyt suomalaisen ydinenergiayhteisön kalenterin kohokohtana. Se on harvinainen ja arvokas tilaisuus meille kaikille ydinenergian parissa ja sen ympärillä työskenteleville pysähtyä, luoda yhteyksiä, jakaa ajatuksia ja katsoa yhdessä eteenpäin.

Tällaisille keskusteluille ei ole koskaan ollut tärkeämpää aikaa. Ydinvoima on saamassa maailmanlaajuisia painoarvoa puhtaan energian siirtymävaiheessa – ja Suomi tutkii aktiivisesti uusia teknologioita kuten pieniä modulaarisia reaktoreita – joten tarvitsemme SYP 2025:n kaltaisia tilaisuuksia syventämään ymmärrystä, rakentamaan luottamusta ja innostamaan toimintaan.

Tämän vuoden teema "Ydinenergia-ekosysteemit" kuvastaa uskoamme siihen, että ydinvoiman menestys ei koskaan ole yhden toimijan ansiota. Se riippuu kokonaisuuden vahvuudesta: tutkimuslaitoksista, sääntelyviranomaisista, ydinlaitoksista, toimittajista, omistajista, innovaattoreista, kouluttajista ja seuraavan sukupolven ammattilaisista. SYP 2025 on paikka, jossa kaikki nämä osat yhdistyvät muodostaen dynaamisen ja yhteistyöhön perustuvan verkoston, jolla on yhteinen tavoite.

Tiimimme on kokoamassa ohjelmaa, josta olen aidosti innoissani. Se on suunniteltu kokoamaan yhteen ääniä koko ydinenergiaekosysteemistä – opiskelijoista vanhempiin asiantuntijoihin – ja yhdistämään vahvaa teknistä sisältöä strategisiin näkökulmiin siitä, mihin olemme menossa. Lopullinen ohjelma muotoutuu keräämiemme esitysten ja puheenvuorojen perusteella, ja uskon, että kun tapaamme kasvokkain eri sukupolvien ja tieteenalojen välillä, tapahtuu aina jotain arvokasta.

SYP 2022 -tapahtumasta saadun palautteen ja pohdintojen perusteella olemme tehneet joitakin parannuksia puheenvuorojen luokitteluun. Nyt kannustamme erityisesti esittämään myös merkityksellisiä keskeneräisiä töitä sekä tiivistelmiä aiemmin julkaistuista tieteellisistä töistä. Toivomme, että tällaiset esitykset herättävät keskustelua ja synnyttävät uutta yhteistyötä kotimaassa ja kansainvälisesti.

Haluan myös korostaa FinNuclear ry:n työtä, joka on vahvasti läsnä tämän vuoden tapahtumassa. Vuonna 2025 FinNuclear tukee aktiivisesti jäsenyrityksiämme tärkeissä kansainvälisissä tapahtumissa, kuten IAEA:n yleiskonferenssissa Wienissä, Pariisissa järjestettävässä ydinvoiman maailmannäyttelyssä (WNE) ja teknologiatoimittajien kanssa järjestettävissä kohdennetuissa B2B-verkkokeskusteluissa.



Vahvistamme myös yhteistyötä pohjoismaisten ja Baltian kumppaniemme kanssa yhteisten toimien kautta. Tavoitteenamme on avata ovia ja luoda foorumeita, joilla suomalaista ydinvoimaosaamista voidaan nähdä ja kuulla ja joilla avataan yhteistyömahdollisuuksia.

Jos olet kiinnostunut kansainvälisistä hankkeista, haluat kasvattaa verkostoa tai haluat ymmärtää paremmin, mihin teollisuutemme on menossa, SYP 2025 -tapahtuman aikana on runsaasti tilaisuuksia yhteydenpitoon ja tutustumiseen. Nämä kaksi päivää ovat enemmän kuin symposium – ne juhlistavat sitä, keitä me olemme ammattiyhteisönä ja mihin olemme menossa. SYP 2025 on elävä osoitus ydinenergiaekosysteemin käytännön toiminnasta. Jos olet ollut mukana ennenkin, tunnet energian. Jos et, tämä on loistava vuosi osallistua.

Kaikille ATS:n jäsenille: kutsun teidät lämpimästi mukaan. Tulkaa kuuntelemaan, puhumaan, esittämään kysymyksiä ja jakamaan kokemuksianne. Teidän läsnäolonne tekee tästä tapahtumasta sen, mitä se on.

Odotan innolla tapaamistanne SYP 2025:ssä.

Harri Varjonen

Puheenjohtaja,
SYP 2025 järjestelytoimikunta
Toiminnanjohtaja, FinNuclear ry.

SHAPING THE FUTURE OF NUCLEAR – TOGETHER AT FINNISH NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY SYMPOSIUM 2025 (SYP 2025)

Theme: Nuclear Energy Ecosystems

This year, I have the great pleasure of chairing the organizing committee for the Finnish Nuclear Science and Technology Symposium 2025 (SYP 2025) – an event I have always considered a highlight of the Finnish nuclear community's calendar. It is a rare and valuable opportunity for all of us working in and around nuclear energy to pause, connect, share ideas, and look ahead together.

There has never been a more important time for these conversations. With nuclear energy gaining global momentum in the clean energy transition – and Finland actively exploring new technologies like small modular reactors – we need spaces like SYP 2025 to deepen understanding, build trust, and inspire action.

This year's theme, "Nuclear Energy Ecosystems," reflects our belief that success in nuclear is never the result of one actor alone. It depends on the strength of the whole – research institutions, regulators, utilities, suppliers, owners, innovators, educators, and the next generation of professionals. SYP 2025 is where all these parts come together, forming a dynamic and collaborative network with a shared purpose.

Our team is putting together a programme I am genuinely excited about. It is designed to bring together voices from across the nuclear energy ecosystem –

from students to senior experts – combining strong technical content with strategic perspectives on where we are heading. The final programme will take shape based on the papers and contributions we receive, and I believe that when we meet face-to-face, across generations and disciplines, something valuable always happens. Based on feedback and reflections from SYP 2022, we have made some improvements to the categorization of contributions. Now we especially encourage presenting also relevant work-in-progress and summaries of previously published scientific work. We hope that such papers will initiate discussions and spark new collaborations domestically and internationally.

I also want to highlight the work of FinNuclear Association, which will have a strong presence at this year's event. In 2025, FinNuclear is actively supporting our member companies through key international events – including the IAEA General Conference in Vienna, the World Nuclear Exhibition (WNE) in Paris, and a series of targeted B2B webinars with technology vendors.

We are also strengthening collaboration with our Nordic and Baltic partners through joint activities. Our goal is to open doors and create platforms where Finnish nuclear expertise can be seen, heard, and partnered with.

If you are curious about international projects, eager to grow your network, or looking to better understand where our industry is going, there will be plenty of opportunities to connect and explore during SYP 2025. The two days will be more than a symposium – a celebration of who we are as a professional community and where we are going. It is a living expression of the Nuclear Energy Ecosystem in action. If you have joined us before, you know the energy. If not, this is a great year to take part.

So, to all ATS members: I warmly invite you to be part of it. Come and listen, speak, ask questions, and share your experience. Your presence makes this event what it is. Looking forward to seeing you there.

Harri Varjonen

Chair, SYP 2025 Organizing Committee
Executive Director, FinNuclear Association

LUMI-superlaskentatietokoneen metallinen kuori on muodoiltaan suunniteltu muistuttamaan lumihankea, muistutuksena pohjoisesta sijainnista. Reikäisyys viittaa reikäkortteihin. Pintaa mukailee myös origameja osoituksena hallin aiemmasta luonteesta paperitehtaana (kuva: Taina Kurki-Suonio).

ATS TUTUSTUI URAANIN TALTEENOTTOON JA SUURTEHOLASKENTAAN

ATS:n kotimaan ekskursio kokosi noin 30 seuran jäsentä ja avecia Kajaanin ja Sotkamon ekskursiolle tutustumaan Terrafamen kaivokseen ja CSC:n superlaskentatietokone LUMIin. Ehdittiin retkellä myös Vuokatin lumille, vaikka virallisesti lumensyvyys oli 0 cm.

Teksti: Hanna Tynys, Taina Kurki-Suonio

Seuran jo kertaalleen siirretty Kainuun ekskursio järjestyi pitkän suunnittelun jälkeen vihdoinkin huhtikuun alussa 2025. Toiveissa oli retki lumiseen Vuokattiin, mutta leudon ja vähälumisen talven myötä hiihtokeliä saatiin jännittää perille saakka. Retki startattiin torstaina iltpäivällä bussimatalla Espoosta Mikkelin, Juvan ja Kuopion kautta Vuokatin Holiday Club Katinkultaan. Perjantai oli varsinainen ekskursiopäivä, lauantai vapaa-aikaa ja sunnuntai kului paluumatkalla.

TERRAFAME – LÄNTISEN EUROOPAN SUURIN NIKKELIKAIVOS

Terrafamen kaivosvierailu oli ohjelmassa aamupäivällä. Isäntämme Jarmo Reunanen kuvaili meille osaavasti ja ymmärrettävästi metallien talteenotto- ja kaivostointia sekä Terrafamea yrityksenä. Terrafamella on alueellaan omia työntekijöitä noin 800, mutta pysyvät urakoitsijat mukaan lukien vuosittainen työ määrä vastaa 1 200 henkilöä.

Kaikkineen kaivoksen työvoimavaikutus Suomessa on noin 4 700–5 000 hen-

kilötyövuotta, ja koko Kainuun alueella se on suurin teollinen työnantaja. Malmivarantojen arvioidaan riittävän 2050-luvulle asti, kun mukaan luetaan myös Kolmisopen alue, jonka malmivaroja on tarkoitus hyödyntää 2020-luvun lopulta alkaen.

Terrafamen päätuotteet, nikkeli ja koboltti, jalostetaan akkumateriaalitehtaalla sulfaateiksi. Nikkelisulfaatin tuotantokapasiteettia on vuosittain noin miljoonan sähköauton akun tarpeisiin. Nikkelimarkkinoilla Terrafame on eurooppalaisittain suuri, mutta pieni verrattuna maailman suurimpaan nikkelin tuottajaan, Indonesiaan. Terrafamen käyttämä bioliuotukseen perustuva nikkelin tuotantomenetelmä on hiilidioksidipäästöiltään jopa 60% alhaisempi kuin muualla nikkelin tuotannossa käytetyt menetelmät, jotka perustuvat pääasiassa konventionaaliseen jauhatukseen, vaahdotukseen ja korkeisiin lämpötiloihin.

Terrafamen prosessissa malmit louhitaan ensiksi avolouhoksesta ja kuljetetaan murskaimille, joista ne päätyvät kasattaviksi bioliuotuskasaan. Seuraava vaihe on metallien talteenotto ja lopulta akkumateriaalitehdas. Kuljetusvälimatkat raaka-aineen ja valmistusvälineiden välillä jäävät 2–3 kilometriin.

Bioliuotuksessa hyödynnetään malmista jo valmiiksi olevaa bakteeristoa. Liuotuskasoissa ilmaamisen ja kastelun ansiosta bakteeristo alkaa liuottaa malmista toivottuja mineraaleja ja ne

saadaan talteen. Prosessista löytyi pari mielenkiintoista yhteyttä ydinenergian puolelle: malmin liuotuksessa hyödynnettävä bakteeristotoiminta on juurikin se sama, joka Onkalossa pyritään estämään, ja poistoveden lämpötila on samaa luokkaa kuin ydinvoimalan lauhdeveden.

Talvivaaran aikoina haasteena oli kasan alla kulkevien salaojaputkien sakaantuminen, mikä esti riittävän virtauksen. Putket täytyy vaihtaa riittävän usein uusiin. Metallitehtaan tai akkumateriaalitehtaan toimintaa emme rajallisen aikaikkunan vuoksi käsitelleet tarkemmin.

KOTIMAISTA URAANIA

Uraania saadaan sivutuotteena akkumateriaalien tuotannossa. Malmin uraanipitoisuus itsessään ei ole kovin korkea, vaan esittelijämme mukaan eduskuntatalon pylväissäkin on suhteellisesti enemmän uraania kuin Terrafamen louhimassa malmis- sa. Niinpä uraanin talteenottoa jatkailtiin kymmenisen vuotta, jona aikana talteenot- tolaitos palveli muun muassa liuosvaras- tona nikkelisulfaattitehtaan käynnistyessä.

Uraanin talteenotto sivutuotteena to- dettiin lopulta kannattavaksi, joten toimin- ta käynnistettiin vuosi sitten kesällä 2024. Uraanin talteenottolaitokselle vesi ohja- taan metallitehtaan jälkeen. Tehtaan lop- putuote on niin kutsuttu yellow cake, joka lähtee maailmalle jatkokäsittelyä varten.

Tuotettu uraanimäärä vastaa noin Loviisan kahden yksikön alkuperäistä tar- vetta (tehonkorotusten myötä nykyinen tarve ei aivan tule katetuksi), tai yhden Olkiluodon vanhan yksikön uraanitarvetta.

KAIVOSALUEELLE VOISI EKSYÄ

Mielenkiintoisten luentojen jälkeen pää- simme bussikierrokselle kaivos- ja tehdas- alueille. Avolouhoksen reunalla mittakaa-

LUMIn kuori kät- kee sisäänsä puh- dastilan, jonne itse laitteet sijoittuvat pölyltä suojaan. Sisällä osallistu- jat saivat nauttia Terrafamen tuu- lissa kylmettymi- sen jälkeen +27 °C lämpötilasta (kuva: Taina Kurki- Suonio).



va hämärtyi katsellessamme pikkuauton näköisiä kiviautoja, joiden renkaatkin olivat oikeasti yli 4 m korkeat (ja 30 k€ hintaiset). Knoppina kerrottakoon, että autojen jokais- ta rengasta varten on oma 1 MW tehoinen sähkömoottori, jotka saavat virtansa diesel- generaattorilta. Ja dieseliä ajokeissa kuluu, joten koneet ovatkin Terrafamen hiilineu- raaliustavoitteiden saavuttamiseksi säh- köistyspalvelusten kohteina.

Kaivoksen näköalapaikalta suunnattiin tehdasalueen näköalapaikalle, josta nähtiin niin bioliuotuskasat kuin tehdasrakennuk- setkin. Täälläkin oli vaikea ymmärtää mitta- kaavaa: primäärioliuotusalueen koko on noin 800 m x 2,5 km ja sekundäärioliuotusalueen noin 1,4 km x 1,4 km. Korkeutta kasoilla on 9,5 metriä. Kaikki oli niin suurta: tulikin oli puuskissa 20 m/s, mikä riitti kaatamaan osan näköalapaikalle vievistä aidoista ja jäädyttämään osan meistä osallistujista sellaiseen syväjähän, että vasta lämmin lounas sai meidät hiljalleen notkistumaan.

Bussimme teki vielä kierroksen tehdas- alueella uraanintalteenoton, paikallisen

voimalaitoksen ja akkumateriaalitehtaan ympärillä ennen suuntaamista kohti lou- nasta ja seuraavaa vierailukohdetta.

CSC ESITTELI SUPERLASKENTAA

Iltapäivän vierailukohteessamme tutustut- tiin materiaalien alkutuotannon sijaan kom- ponenttien loppukäyttöön. Tieteen tietotek- niikan keskus CSC on Suomen valtion ja suomalaisten tutkimuslaitosten omistama yritys, joka on tehnyt suurteholaskentaa Suomessa jo vuosikymmeniä. CSC:llä on operoitavanaan paitsi kansalliset lasken- takoneet Mahti ja Puhti, myös vierailum- me varsinainen pääkohde, eurooppalais- en yhteistyönä rakennettu supertietokone LUMI.

LUMI on tällä hetkellä maailman 8. te- hokkain superlaskentatietokone, joka on sijoitettu Kajaanissa vanhaan UPM:n pa- peritehdashalliin. Kone on rahoitettu eri maiden yhteistyönä, ja siksi sen laskenta- kapasiteettikin on jaettu maiden kesken rahoitusosuuksien suhteessa. Suomen osuus on noin 25 %. Laskentateho on paitsi tieteen tekijöiden myös yritysten käytössä joko tietyillä ehdoilla tai maksua vastaan. Laskentakapasiteetista on noin 80–90 % käytössä.

Suurteholaskennan käyttäjiä tutkimus- maailmassa ovat muun muassa ilmastotut- kimus, datatiede, plasmafysiikka, materi- aalitekniikka ja kielimallien kehitys.

Ydinvoima-alalaisten näkökulmasta kiinnostavimpia esimerkkejä superteho- laskennan hyödyntämisessä olivat fuu- sioenergia ja siihen liittyvä plasmafysiik- ka sekä Posivan kulkeutumisanalyysit. Posivan projektissa loppusijoitusalueen



DI Hanna Tynys
Expert, Newbuild Services
Fortum
hanna.tynys@fortum.com



Dos. Taina Kurki-Suonio
Vanhempi yliopistonlehtori
Aalto-yliopisto, Teknillisen fysiikan laitos
taina.kurki-suonio@aalto.fi

kallioperän pohjavesikemiaa mallinnetaan jopa miljoonan vuoden päähän.

LUMI osallistuu myös Kajaanin kaukolämmöntuotantoon. Kone on vesijäähdytteinen, ja sieltä virtaava vesi lämpenee noin 32:sta 42–45 asteeseen. Tästä vedestä otetaan lämpöpumpuilla energiaa talteen kaukolämpöverkkoon, jolloin saadaan noin 10 % Kajaanin tarpeesta katettua.

TEHOKÄRJESTÄ ROMURAUDAKSI

Meidän ydinvoima-alalaisten mielestä LUMI on erittäin uusi, sillä onhan se saatu toimintaan 2022. Suurteholaskennassa vallitsevat kuitenkin eri lainalaisuudet teknologian mennessä koko ajan eteenpäin ja LUMI onkin tulossa käyttökänsä päähän 2027. Suunnitteilla onkin jo seuraava hanke: LUMI AI, jonka kokonaisbudjetti on yli 600 M€. LUMI:n lailla se on eurooppalainen yhteishanke, josta EU:n osuus on noin puolet. LUMI AI:n on tarkoitus tulla käyttöön 2026–2027 – rakennuspaikkakin on hallin toisessa päässä jo odottamassa.

Vierailun päätteeksi tehtiin kierros Lumin metallisen ”suojarakennuksen” sisällä. Tämä rakennelma oli paitsi todellinen taideteos, myös sisälsi ihastuvan määrän symboliikkaa: metallikuoressa oli eri suuntaisia pintoja ja tiukkoja vekkejä. Suunnittelija on valinnut origamimaisen rakenteen muistuttamaan itse rakennuksen historiasta paperitehtaan. Lisäksi metalli oli täynnä pieniä reikiä, jotka toivat



Aamu Terrafamella alkoi tietysti turvallisuusohjeiden läpikäynnillä pullansyönnin ohella (kuva: Hanna Tynys).

vanhemmille osallistujille heti mieleen tietotekniikan alkuhetket reikäkortteineen ja -nauhoineen. Toisaalta hämärässä hallissa itse tietokonesalista reikiä läpi tuleva valo sai siniseksi heijastetun seinän loistamaan kuin kiteisen lumihangon.

Molemmat vierailut saivat osallistujilta kiitoksia. Saimme paljon uutta tietoa ja esittelijät olivat vierailuilla erinomaiset. Kahden mielenkiintoisen vierailun jälkeen perjantaina nautittiin vielä illallinen kainuulaisessa pitopöydässä.

Lauantai kului vapaan seurustelun merkeissä – yksi ATS:n perustehtävistähän on mahdollistaa ja lisätä vuorovaikutusta

ydinvoima-alalla. Osa onnistui vuorovaikutamaan edelleen hyvässä kunnossa olleissa laskettelurinteissä ja jopa hiihtämällä, kun Vuokatin urheiluopiston ensilumen latupatjoja oli vielä jonkin verran jäljellä. Myös alueen kävelyreitit olivat varsin viihdyttäviä, eikä kovin moni pystynyt päivän päätteeksi vastustamaan Katinkullan erittäin monipuolista kylpylää.

Sunnuntai kului jälleen bussissa ja ABC-liikenneasemilla. Meille oli valikoitunut erittäin miellyttävä, pätevä ja porukkaamme sopiva bussikuski Vesa, joka reissun päätteeksi sanoi: ”tämähän ei tässä porukassa tuntunut edes työltä”. 🌀



Terrafamen avolouhos on yli 4 km pituinen. Näköalatasanteen korkeus merenpinnasta oli +215 m ja louhoksen pohjan +15 m. Louhittavaa riittäisi kuitenkin jopa tasolle -500 m merenpinnasta. Alempaa esiintymä on kuitenkin kapeampi, jolloin kannattavuus ei pohjaan asti ole hyvä (kuva: Hanna Tynys).



UK YGN and Finnish ATS guests on cultural tour of Helsinki at the Helsinki sign between parliament and central library.

UK YOUNG GENERATION VISIT TO FINLAND

In a landmark exchange of ideas and expertise, twenty young nuclear professionals from the UK embarked on a week-long tour of Finland’s nuclear sector in April 2025. Representing 17 organisations and united under the UK Nuclear Institute Young Generation Network (YGN), the group explored Finnish nuclear sites, engaged in technical seminars, and forged valuable connections with their Finnish counterparts. This cross-border initiative aimed not only to share best practices but also to inspire future collaboration in shaping the next generation of nuclear programmes.

Text: Sean Brown and George Caliment
Figures: Victoria Chan



Sean Brown
CEng, MICHemE, MNucl
Safety and Risk Consultant and
Delivery Manager
Assystem
sbrown@assystem.com



George Caliment
EC&I Engineer
Assystem
gcaliment@assystem.com

In early April 2025, a group from the UK Nuclear Institute Young Generation Network (YGN), comprising of 20 young nuclear professionals representing 17 different UK organisations, visited Finland for a week-long tour of its nuclear landscape. This event represented a unique opportunity to connect Finnish and British colleagues, learn from one of the world’s leading nuclear nations, and explore how common lessons and best practices from our nations might inform the future of civil nuclear programmes.

Throughout the week, the event included a full-day technical seminar in Helsinki, numerous networking opportunities, visits to key nuclear sites in Finland and cultural tours — all designed to build bridges between the two nations and young professionals in the nuclear field.

The UK YGN would like to express its gratitude and appreciation to sponsors as this visit was made possible through the support of Accenture (Platinum Sponsor), and Rolls-Royce SMR & Westinghouse (Gold Sponsors).

SEMINAR DAY

The event started with the seminar day at Klaus K hotel in Helsinki, run by the UK YGN, bringing together 37 delegates from both countries. The aim of the seminar sessions was to share common progress, exchange perspectives, and spark further collaboration across the nuclear professionals.

This day was opened with presentations from our sponsors Accenture, Rolls-Royce SMR and Westinghouse. These promotional presentations were followed by an update from the UK YGN, delivered by George Caliment, about the network’s missions and upcoming activities. Next on the agenda was an update from the ATS Young Generation delivered by the chair, Roope Lipiäinen, and vice-chair, Jenna Järvenpää, which focused on the Young Generation of the Finnish Nuclear Society and its initiatives.

The audience had the opportunity to hear from Fortum, a major Finnish energy company with operations across Scandinavia, delivered by Hanna Tynys which helped contextualise Finland’s nuclear footprint. This was followed by an informative session with STUK, delivered by Axel Kämppe, Teemu Soukki and Aleks Valkeapää, who discussed the current reg-

ulatory environment in Finland and the ongoing and upcoming legal reforms.

Accenture provided an insightful, forward-looking view of Finland's energy market and investment landscape, presented by Lauri Haapamäki and Riikka Hinkkanen. The UK YGN organised an interactive session, which encouraged attendees to debate key topics around European Pressurised Reactors (EPRs), geological disposal, and Small Modular Reactors (SMRs).

A highlight was a remote talk delivered by Marc McBride, Principal Inspector from the UK nuclear regulator (Office of Nuclear Regulations), who shared reflections on safety culture, regulatory evolution, and updates on the UK's EPR and Geological Disposal Facility (GDF) programmes.

The day ended with a presentation from VTT, showcased by Matti Paljakka, who presented Finland's national research centre, whose work bridges public research and private sector innovation.

BRITISH EMBASSY RECEPTION

Later in the day, both British and Finnish delegates were honoured to be invited to the British Embassy in Helsinki, for a reception held at the official residence of His Majesty's Ambassador to Finland, Laura

Davies. All seminar participants were welcomed, making it a full gathering of UK and Finnish delegates in a formal, yet friendly setting.

Ambassador Davies, joined by the Embassy's Science, Innovation and Technology Officer and Senior Trade Advisor, spoke about the recently signed UK–Finland Memorandum of Understanding on nuclear collaboration — a fitting context for our visit. It underscored the importance of our mission: this was not just a technical exchange, but a moment of genuine diplomatic alignment.

The evening provided a unique opportunity to deepen conversations, meet representatives, and reflect on the global nature of our work in nuclear.

OLKILUOTO ISLAND

The technical highlight of the week was the visit to Olkiluoto, an island on Finland's west coast. It is home to one of Finland's two nuclear sites, comprising Olkiluoto 1 and 2 (boiling water reactors commissioned in 1978 and 1980), and the newly operational Olkiluoto 3 — an EPR, connected to the grid in 2023.

Olkiluoto 3 is particularly relevant for UK delegates, as it shares the same EPR design as Hinkley Point C and Sizewell C,

nuclear power plants currently under construction in the UK. The visit began with a presentation from TVO, who walked us through the site's history, its reactor fleet, and the pioneering ONKALO project — the world's most advanced high-level nuclear waste geological disposal facility, now in commissioning stages.

The UK YGN was also joined by the Olkiluoto Young Generation Society, who shared their work supporting young professionals at the site.

A bus tour took delegates closer to the reactors and ONKALO surface facilities, providing a real sense of scale and integration. But the true highlight was the rare honour of entering the intermediate and low-level waste repository, descending around 40 metres underground to view the tops of the storage silos — a sobering and powerful moment.

The day concluded with a visit to 'Electricity from Uranium' exhibition at the Olkiluoto Visitor Centre, one of the most comprehensive exhibits globally on the nuclear fuel cycle, from uranium mining to final disposal.

CULTURAL DAY

In between technical sessions and site visits, UK YGN delegates immersed them-



UK YGN outside Olkiluoto power stations at Olkiluoto visitor centre.



UK YGN in Intermediate level waste repository on Olkiluoto island.

selves in Finnish culture — accompanied by Finnish colleagues from the nuclear sector. These shared experiences became essential touchpoints for informal networking and meaningful conversations.

Delegates took part in a historical and cultural walking tour of Helsinki, learning about the city's evolution and Finland's journey from being a young European country to its current standing as a progressive, high-tech nation.

Delegates also visited Suomenlinna, Helsinki's iconic sea fortress and UNESCO World Heritage Site. The island's role as a cultural and military crossroads gave context to Finland's values of resilience, innovation, and long-term planning — traits reflected in the modern day in its nuclear programme.

Meals, walks, and conversations all contributed to a richer understanding of Finnish life and allowed delegates to build professional relationships on a foundation of cultural respect and shared experience.

CONCLUDING REMARKS

As the week drew to a close, it was clear that this was far more than a technical tour; it was the start of lasting professional relationships and invaluable international

collaboration. We would like to express our gratitude to our sponsors Accenture, Rolls-Royce SMR, and Westinghouse and thank each of the delegates, colleagues and guests who attended making this event one to remember.

We would like to give special recognition to Victoria Chan, the UK YGN Marketing and Communications Lead, for her impeccable efforts in producing and delivering the marketing materials for the YGN's social media channels.

A few reflections from the organisers were shared following the visit. George Caliment from Assystem said, "From the beginning of organising this initiative, I recognised the significant potential and opportunities for collaboration between our British and Finnish colleagues. On a personal note, I was impressed by the professionalism shown during the week by every Finnish colleague involved in activities during the week. We have extended an invitation to our Finnish colleagues to visit the UK, allowing us to further our collaboration and to highlight the rich nuclear and cultural heritage of our nation."

Sean Brown from Assystem, said "Organising this trip to Finland was a very rewarding experience. It brought together UK and Finnish nuclear professionals

to share knowledge, explore different approaches, and build meaningful connections. I'm grateful to all those involved for their engagement and hospitality. The week ran smoothly, with insightful visits, thoughtful discussions, and genuine collaboration. It was a pleasure to take part, and I hope the relationships formed will lead to continued dialogue and future co-operation."

Finland's advanced approach to nuclear regulation, waste management, and reactor deployment offered vital insights for the UK, as they advance their civil nuclear ambitions. The bonds formed between the colleagues from the two countries — both professional and personal — will help ensure that progress continues, fuelled by shared knowledge, mutual respect, and a common commitment to a cleaner energy future. 🌐



Panelists Janne Liuko, Kalev Kallemets, Øyvind Aas-Hansen, and Christian Sjölander discussed the situation of new nuclear in the Nordic region and gave answers to questions from the audience.

SMR BUSINESS DAY 2025

Hosted by FinNuclear, the SMR Business Day 2025 gathered over 200 industry leaders, regulators, developers, and financiers at the Hanasaari Cultural Centre in Espoo to discuss the future of Small Modular Reactors (SMRs) in the Nordic region. The day consisted of insightful key note speeches, panel discussions, and dialogues among the nuclear experts. An exhibition of 19 companies sparked positive commotion during coffee breaks.

Text: Unna Lauranto, Areeb Murad, Asad Mehmood

Figures: Matti Rajala

“The choices we make today will determine how we power the industries of tomorrow.” This was the call to action given by FinNuclear that attracted the

leaders and key players of the SMR field together on May 6th 2025. FinNuclear, in partnership with EcoSMR, Calogena, Fortum, Steady Energy and VTT, offered a platform

for key government officials, utilities, private developers, legal and regulatory experts, and emerging start-ups each to contribute their perspective on what is needed to make SMRs a reality in Finland and across the region. In the core of the event was collaboration: how to make the economic, policy and innovative sectors collaborate effectively to ensure a successful rollout of SMRs.

The event began with a keynote speech by Wille Rydman, the Finnish Minister of Economic Affairs, who emphasized the importance of nuclear in Finland. He underscored the urgency of decarbonizing sectors like district heating, electricity, and data centres, and highlighted the impact of the Finnish innovations Onkalo (geological final disposal of nuclear waste) and LDR-50 (heat-only SMR design).

Rydman expressed the government's support for new nuclear and praised Finland's leading institutions Fortum, VTT and LUT University for conducting feasibility studies and pushing forward pilot concepts. He emphasized that while technology and regulation are critical, financial structures and government-industry collaboration must evolve in parallel to enable deployment.

MARKET AND FINANCING PERSPECTIVE

The first session of the day focused on the financing perspective of nuclear projects. We heard an enlightening keynote speech about the financing of nuclear projects by



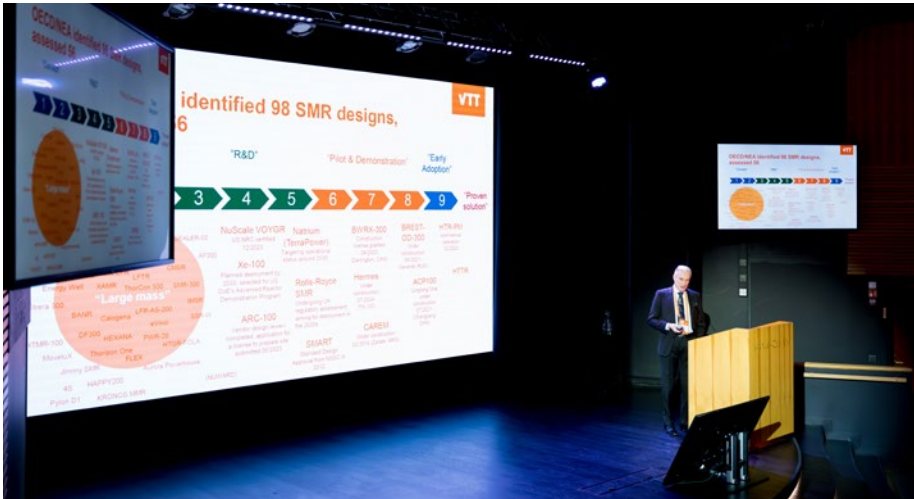
M.Sc. (Tech.) Unna Lauranto
Research Scientist
VTT Technical Research Centre
of Finland Ltd.
unna.lauranto@vtt.fi



M.Sc. (Tech.) Areeb Murad
Research Assistant/Student
Aalto University
areeb.murad@aalto.fi



M.Sc. (Tech.) Asad Mehmood
Research Assistant/Student
Aalto University
asad.mehmood@aalto.fi



VTT's Jani Halinen presented technological readiness levels of several SMR concepts.

George Borovas, who leads the nuclear practice in the law firm Hunton Andrews Kurth. In the speech, Borovas specified the risks related to a nuclear project from the investors' perspective and ways of minimizing them. Pairing well with Minister Rydman's opening remarks on Finnish government's support, Borovas highlighted that government support for the new nuclear project is essential, while maintaining well-defined roles of both the public and private sides.

Kati Ruohomäki, Chief Policy Adviser for Energy and Climate in the Confederation of Finnish Industries (EK), extended the discussion to EU-level policies. With the growing interest of nuclear, an initiative by many European business federations has been raised aiming at removing the barriers for financing nuclear projects.

A topic that was emphasized by Ruohomäki, and recurred in many of the speeches during the day, was technological neutrality in political decision making. All solutions that are sustainable and can help in reaching the carbon neutrality goals, should be as equally considered. It is important to ensure that technological neutrality is not only talked about, but also realized in the legislation. Ruohomäki warned that EU ambitions to decarbonize industry cannot succeed without a strong nuclear pillar, particularly for clean hydrogen and district heat production.

REGULATORY PERSPECTIVE

Jani Halinen, head of Nuclear Energy research area at VTT, started the second session of the day with a refreshing interactive quiz containing pictures of different nuclear technologies. The lesson learned is that the technologies considered as advanced today, have been demonstrated decades ago.

Halinen pointed out that the question marks for nuclear projects are not about the technology itself, but "it's about man-made rules." He categorized the different parts of licensing and raised the proposition of international harmonization of the licensing policy. VTT's role Halinen presented as "bridging the gap between academic research and commercial applications."

The harmonization of the licensing process was also brought up by the STUK director Jussi Heinonen in his speech regarding the renewal of nuclear regulations. Heinonen highlighted efforts to harmonize licensing with international standards, acknowledging the challenges of communication, complexity, and public trust. Heinonen detailed the reformation of the nuclear energy legislation in Finland. The goal of the reformation is to modernize the legislation and shift to a risk-informed, technology-neutral regulatory model, while maintaining the current safety level.

SMR DESIGNS ON THE RISE

In his speech, Jani Halinen had listed various SMR designs based on their technological readiness level. However, as Halinen mentioned, the list did not include the Finnish design LDR-50, the 50 MW heat-only SMR tailored for district heating. Thankfully, Steady Energy's CCO Matti Pentti was there to shed some light to the current state of project with his speech.

And that he did. The biggest news of the day was the announcement of the location of the LDR-50 pilot plant. The full-scale pilot plant will be located in Salmisaari, in the turbine hall of the former coal power plant. With a 6 MW electrically heated core, the target is to demonstrate the functioning of the core passive safety system. The construction of the pilot plant starts this year, and the target for beginning of construction of the first real reactor is for 2028.

Pentti presented the details for the need for nuclear district heating and economic feasibility of the design. He expressed that though Finland is great place



The sold-out event gathered an international audience of over 200 people.



The seaside venue in Hanasaari provided breathtaking views.

to start the LDR journey, the LDR-50 is indeed going to be an export product.

Pentti is not the only speaker of the day who considers Finland as a pioneer in nuclear district heating. The following keynote speaker, Tor Stendahl from the French SMR company Calogena, believes that “Finland is leading the way towards carbon-free district heating.” Stendahl outlined regulatory steps already underway in France and expressed keen interest in deployment opportunities in Finland.

Similarly to Steady Energy, Calogena trusts in mature and proven technology in their design. The core thinking behind the Calogena design is KISS: Keep It Simple and Safe. The 30 MW heat-only pressurized water reactor design includes passive safety features and scalable design by enabling several reactor modules in one building. Calogena’s goal is to start the construction of the first reactor before 2030.

NORDIC FEASIBILITY AND REGIONAL STRATEGY

The post-lunch session opened with Anni Jaarinen, the Vice President of Nuclear Services at Fortum, who shared results from a major two-year feasibility study. The study analyzed 11 SMR designs across technical, economic, and regulatory criteria. The conclusion: new nuclear is not feasible in the Nordics in the near future on merchant basis only. While SMRs are viable, real projects demand strong execution certainty, risk-sharing models, and standardized technologies. Without these, developers face too much exposure to volatility in power markets and capital costs.

Fortum’s feasibility study covered only SMRs and conventional large reactors for electricity production, so Steady Energy’s and Calogena’s concepts are not directly covered by this study. Unlike electricity, the

price of heat is stable and predictable, as Steady Energy’s Matti Pentti pointed out in his speech.

After her keynote speech, Jaarinen hosted a panel discussion titled “What is needed to develop SMRs in the Nordic region?” with participation from Christian Sjölander from Kärnfull Next (Sweden), Kalev Kallemets from Fermi Energia (Estonia), Janne Liuko from Helen Oy (Finland) and Øyvind Aas-Hansen from Norsk Kjernekraft AS (Norway). Panelists explored project risk, licensing alignment, supply chain development and financing. Common themes included:

- The importance of fleet deployment to reduce costs,
- Customer contracts and power purchase agreements (PPAs) as critical financial enablers,
- Repurposing brownfield sites (e.g., coal or industrial facilities) as ideal SMR locations,
- The role of strong ownership organizations with deep nuclear experience.

FINANCING THE FUTURE: A NEW MODEL FOR NUCLEAR INVESTMENT

The final session began with Milko Kovachev from the International Bank for Nuclear Infrastructure (IBNI), who introduced the concept of a dedicated multi-lateral development bank for nuclear. His proposal centers on a \$50 billion fund to de-risk SMR and large-scale nuclear investments by acting as an anchor lender, issuing green bonds, and supporting first-of-a-kind projects.

Kovachev stressed that current global nuclear investments are less than half of what is needed to meet climate targets and that only a purpose-built financial in-

stitution can mobilize the required capital efficiently.

He then joined a panel moderated by Harri Varjonen (FinNuclear), along with George Borovas and Prof. Juhani Hyvärinen (LUT University), to discuss financing mechanisms for nuclear deployment. Key themes included:

- The need for long-term revenue visibility to attract private capital,
- Use of blended finance models combining public guarantees with private equity,
- Importance of regulatory harmonization and first-mover government support,
- The potential for repurposing fossil and industrial sites to reduce capex.

The panel also reflected on international best practices, such as the UAE’s success in developing a localized supply chain and financing model and called for European cooperation in standardizing project evaluation.

FROM VISION TO EXECUTION

The future role of nuclear energy has been recognized globally. SMR Business Day 2025 showcased how far Finland and the broader Nordic region have come in turning the SMR vision into an investable, scalable reality. Key takeaways from the day included:

- The importance of political and policy alignment with industrial and financial actors,
- The growing readiness of multiple Nordic companies to move from feasibility to execution,
- The role of regulatory reform and harmonization in reducing project risk,
- The urgency of establishing tailored financing tools to unlock deployment at scale.

The Nordic region has the technical know-how, public trust, and policy stability to lead in SMR deployment not just for electricity, but for district heating and industrial decarbonization. What remains is coordination, commitment, and capital. 🌐

The event was organized by FinNuclear in partnership with VTT, Steady Energy, Fortum, Calogena and EcoSMR-Hub. EcoSMR-Hub is a network of organizations and individual experts that facilitate information sharing and joint ventures to advance the development of expertise and capabilities around lifecycle management of Small Modular Nuclear Reactors.

SENIORIEN RAUTAINEN RETKI LAPPEENRANTAAN – NYKYTUTKIMUSTA JA HISTORIAA

ATS-Seniorit elvyttivät vuonna 2020 koronan katkaiseman ekskursio-perinteensä maaliskuisella retkellä Lappeenrantaan. Ensimmäinen aiotuista teknisistä kohteista jäi maailmantilanteen vuoksi turvavyöhykkeelle, mutta matkareitistä pidettiin kiinni. LUT-yliopiston koelaitteistojen esittely oli matkan väärti, ja hyvässä seurassa on aina ilo matkustaa.

Teksti: Riitta Kyrki-Rajamäki ja Eija Karita Puska

Matkamme oli ajankohtainen, sillä toukokuussa vietetään LUT:n ydintekniikan laboratorion termohydraulisen koetoiminnan 50-vuotisjuhlia. Ensimmäinen tutustumiskohteemme olivat koelaitteistot CRAFTY, MOTEL ja PASI. Myös muutama pienempään mittauslaitteistoon ehdittiin pikaisesti tutustua. Viimeinen kohteemme oli Ratajätäkät-näyttely Etelä-Karjalan museossa.



Prof. emerita Riitta Kyrki-Rajamäki
ATS-Seniorit, kokoonkutsuja
rkyrki@gmail.com

HALKI LUMITUISKUN ITÄÄN

Reissuun Helsingin rautatieasemalta meitä lähti 12 senioria, mutta matkan varrelta saatiin yksi ja vielä periltä toinen osallistuja lisää. Aamutuimaan oli lumisateinen sää, kun suuntasimme kohti eksoottista itää. Haminan jälkeen liukastelimme sohjoisilla raiteilla auraamattomalla moottoritiellä. Vasemmalle kaistalle ei olisi ollut mitään



TkT Eija Karita Puska
ATS-Seniorit, koordinaatioryhmän jäsen
eijakaritap@gmail.com

asiaa, mutta ei kyllä ollut yhtään ohitettavaakaan, vastaantulijoita taisi olla kolme.

Vaalimaan mielenkiintoinen lineaari- kiihdytin, jolla läpivalaistaan rekkoja, on nykyisin valitettavasti tiukasti suljettujen aitojen takana. Suljettuna oli myös linjakas Pietarin empirearkkitehtuuria mukailleva laaja ostoskeskus Zsar. Sisämaahan suunnatessa ihailimme ohi ajaessa, miten Ylämaan kivilouhimoiden kontin kokoisten sivukivien kasat tien varrella nousivat kymmenien metrien korkeuteen. Talvella hiljainen Ylämaan jalokivimuseokin vain ohitettiin.

PERILLE PÄÄSTIIN

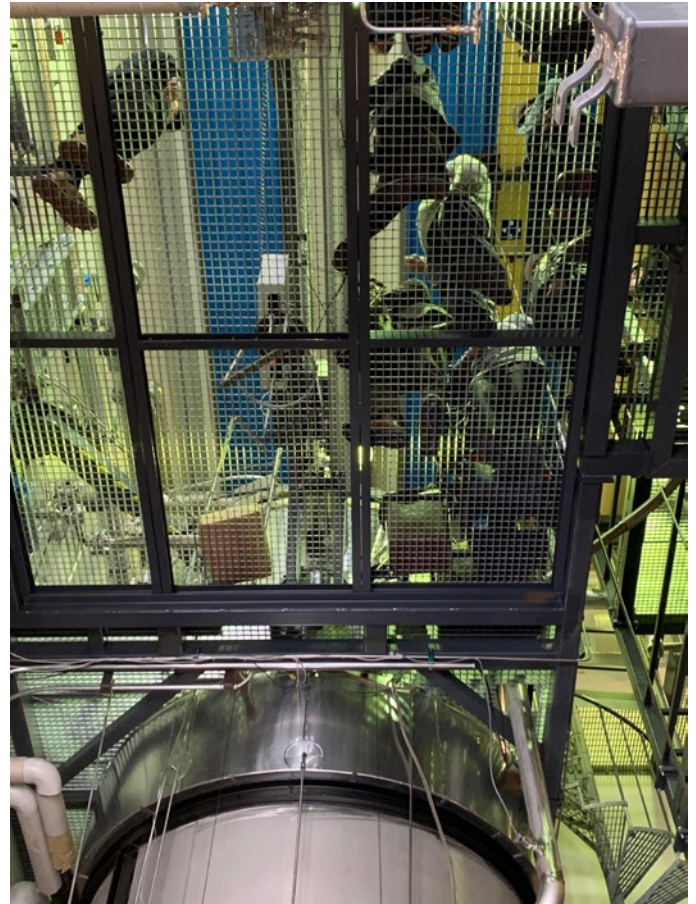
Perillä LUT:ssa isäntänämme toimi TkT Heikki Suikkanen. Ydintekniikan laboratorion tutkimuslaitteistoja sovellusmahdollisuuksineen esittelivät Joonas Telkkä ja Lauri Pyy. Professori Juhani Hyvärinen kertoi koko laajenevasta yliopistosta, ydin- alan koulutuksesta ja alamme tutkimusprojekteista. Heille kaikille suuret kiitoksemme täysipainoisesta päivästä.

Lappeenrannan-Lahden teknillisessä yliopistossa (LUT) on nykyisin noin 8500 opiskelijaa ja henkilökuntaa on noin 1300. LUT:sta valmistuneista yli 93 % työllistyy vuoden sisällä valmistumisesta. Opetus on pääosin suomeksi, mutta englanninkielinen opetus on vallalla maisteritasolla. Yliopistossa opiskelee sadan eri kansallisuuden edustajia, joista EU:n ulkopuoliset maksavat tuntuvia lukukausimaksuja. Juhani Hyvärisen professuuri on ainoa fissioenergiaan keskittyvä professuuri Suomessa.

YDINTEKNIKAN LABORATORION TUTKIMUSLAITTEET

Ydintekniikan laboratoriossa ovat Suomen laajimmat termohydrauliikan koelaitteistot ja kyky niiden rakentamiseen ja instrumentointiin. Eri tarkoituksiin luoduilla laitteistoilla on pystytty todentamaan monia päivänpolttavia ongelmia. Muun muassa jo puretulla erityislaitteistolla tutkittiin bitumin käyttöä Olkiluoto 3:n paineistimen yhdyslinjan värähtelyiden vaimentamiseen. Ulkomailta tutkimusta tilaten olisi mitä todennäköisimmin kulunut moninkertainen aika tulosten saamiseen tähän voimallatoksen käynnistyksen kannalta kriittisellä polulla olleeseen ongelmaan.

Ydintekniikan laboratorion tutkimusten tuloksia hyödynnetään myös tieteellisissä projekteissa sekä kotimaassa erityisesti SAFER2028-tutkimusohjelmassa että



↑ Joonas Telkkä PASI-koelaitteiston edessä havainnollistamassa laitteiston kokoa (kuva: Eija Karita Puska).



↑ ATS-Senioreita myyräperspektiivistä nähtyinä CRAFTY-koelaitteistolla. Laboratoriolla on kautta historiansa ollut erinomainen kyky uudelleen hyödyntää vanhoja koelaitteistoja, kuten kuvassa näkyvää PPOOLEXia (kuva: Riitta Kyrki-Rajamäki).

← PASI-koelaitteisto. Korkeussuunnassa skaala referenssiin on 1:2, ja muut pääparametrit ovat korkeus 8,1 m, lämmönvaihdinten korkeus 2,8 m, lämmönvaihdinputkien määrä 15 kpl ja järjestelmän enimmäispaine 5 bar (kuva: Eija Karita Puska).



Lauri Pyy esittelemässä CRAFTY-koelaitteiston 'pihviä', eli tiheästi instrumentoitua mittausosaa. Instrumentointi kätkeytyy suojauksen alle, eli aina kuva ei kerro niitä kuuluisaa tuhatta sanaa (kuva: Eija Karita Puska).



Joonas Telkkä esittelemässä MOTEL-koelaitteistoa, jonka pääparametrit ovat korkeus 7,7 m, suunnittelpaine 40 bar, maksimi lämpötila 250 °C ja sydämen maksimiteho 1 MW (kuva: Eija Karita Puska).

kansainvälisesti EU:n ja NEA:n tutkimushankkeissa, joissa on tutkittu esimerkiksi kierreputkihöyrystimen käyttäytymistä ja sydämen poikittaisvirtauksia MOTEL-laitteistolla ja luonnonkiertoa sekä PASI-että PWR-PACTEL-laitteistoilla.

Kierroksemme aluksi Joonas Telkkä esitteli ydintekniikan laboratorion koelaitteistojen historiaa alkaen Rewet-1-laitteistosta, kattaen VERA-boorikokeet ja suuret koelaitteistot PACTEL, PWR-PACTEL, POOLEX ja PPOOLEX. Koko laboratorion olemassaolon ajan on paitsi rakennettu uusia ja ainutkertaisia koelaitteistoja myös osattu hyödyntää niitä tulevien koelaitteistojen osina.

Kierroksemme alkoi CRAFTY-laitteistosta, jota seurasivat PASI ja MOTEL. Lisäksi esiteltiin useamman dimension ja faasin virtauksen tutkimiseen kykeneviä mittauslaitteistoja, kuten particle image velocimeter (PIV) ja wire-mesh sensor (WMS), joihin tutustuminen jäi aikataulusyistä varsin pikaiseksi.

CRAFTY

Kiipesimme kolmannen kerroksen korkeuteen tutustumaan uuteen CRAFTY-laitteistoon (CRiticAI Flow Test facility), jolla tutkitaan kriittistä virtausta höyrygeneraat-

torin putken giljotiinimurtumassa. Laitteisto hyödyntää infrastruktuurinaan vanhempia laitteistoja; muun muassa PPOOLEX toimii sen päästön vastaanottajana.

Lauri Pyy esittelemä CRAFTY koostuu paineistinlinejasta, ylävirran paineastiasta, putkimittauslinjasta, ulospurkausputkista ja alavirran ulospurkausastiasta. Laitteisto voidaan esilämmittää käyttäen vanhan PACTEL-koelaitteiston esilämmityslinjaa. Ylävirran painetta ja alijäähdytystä voidaan säädellä ja purkausputket ovat vaihdettavissa, jotta kokeeseen saadaan haluttu halkaisija-pituus-suhte. CRAFTYssä käytetyt purkausputkien sisähalkaisijat 13 mm ja 17 mm edustavat suomalaisten painevesireaktoreiden höyrystinputkia, eli Loviisan VVER-440- ja Olkiluodon EPR-reaktorityyppejä, vastaavasti.

Paineistus hoidetaan tyypellä, joka syötetään kahdestatoista paineistetusta tyypisäiliöstä ylävirran paineastian yläosaan. Ylävirran paineastiaa kutsutaan myös SCRAM-tankiksi. U-mittausputki on kiinnitetty SCRAM-tankin alaosaan. U-putkessa on massavirtaa mittaava virtausmittari ja sulkuventtiili, jonka avaus käynnistää purkauksen. PPOOLEX-laitteisto toimii purkauksen vastaanottavana tankkina. CRAFTY-laitteiston maksimipaine on 10 MPa ja maksimilämpötila 270 °C.

SAFER2028-tutkimusohjelman C-FLOW-projektia varten oli hankittu gammadensitometri, jossa on Cs-137-säteilylähde. Lupa sen käyttöön oli saatu STUKilta vuonna 2023 ja se otettiin käyttöön kandidaatintyössä viime vuonna. Gammadensitometri on radiometrin mittalaite, jolla mitataan veden aksiaalista kiehumispistettä kriittisessä virtauksessa ohuessa putkessa. Mittalaitteella havaitaan tiheydenmuutos alijäähtyneen veden ja höyryn välillä putkesta. Tiheydenmuutoksen perusteella voidaan löytää alijäähtyneen veden kiehumispiste.

Muistinvaraista tietoa CRAFTY-laitteistosta on tekstissä vahvistettu viitteistä¹ ja² peräisin olevin tiedoin.

PASI

Joonas Telkkä esitteli uudemmassa vielä entistäkin korkeammassa (17 metriä) tutkimushallissa sijaitsevat PASI ja MOTEL-koelaitteistot, joista erityisesti PASI-laitteistolla voidaan tutkia passiivisten turvallisuusjärjestelmien ominaisuuksia, muun muassa stabiiliisuutta.

PASI-koelaitteisto on yhden virtauspiirin malli avoimesta passiivisesta suojarakennuksen jäähdytysjärjestelmästä. Sen referenssinä on AES-2006-tyyppisen painevesireaktorin suojarakennuksen pas-

MOTEL – INTEGROIDUN SMR:N MALLI

Referenssijärjestelmä	Ei suoraa referenssiä – rakenne muistuttaa NuScale-reaktoria
Maksimipaine	4 MPa
Maksimiteho	990 kW
Maksimilämpötila	250 °C
Painesäiliön korkeus	7,4 m
Sydämen korkeus	1,83 m
Halkaisija	0,71 m
Höyrystinputkien lukumäärä	16

PASI – PASSIIVINEN LÄMMÖNPOISTOJÄRJESTELMÄ

Referenssijärjestelmä	AES-2006-reaktorin suojarakennuksen passiivinen lämmönpoistojärjestelmä
Korkeusskaalaus	1:2
Lämmönsiirtoinputkien lukumäärä	15
Suojarakennuksen maksimipaine	0,5 MPa
Suojarakennuksen maksimilämpötila	170 °C
Luonnonkiertopiirin korkeus	10,01 m
Vesialtaan syvyys	3,78 m
Lämmönsiirtoinputkien ulkohalkaisija/seinämänpaksuus	38/3 mm

PACTEL – LOVIISAN PRIMÄÄRIPIIRIN MALLI

	PACTEL	Referenssi (VVER-440)
Sydämen maksimiteho	1 MW	1375 MW
Kiertopiirien lukumäärä	3	6
Tilavuusskaalaus	1:305	
Korkeusskaalaus	1:1	
Primääripaine	8,0 MPa	12,3 MPa
Sekundääripaine	4,6 MPa	4,6 MPa

PWR PACTEL – PYSTYHÖYRYSTIN-PAINEVESIREAKTORIN MALLI

Referenssilaitos	EPR
Tilavuusskaalaus	1:405 (reaktoripainesäiliö) 1:400 (höyrystimet) 1:562 (paineistin)
Korkeusskaalaus	1:1 (reaktoripainesäiliö) 1:4 (höyrystimet) 1:1,6 (paineistin)
Maksimiteho	1 MW
Maksimipaine primääri/sekundääri	8,0 MPa/4,65 MPa
Maksimilämpötila primääri/sekundääri	300 °C/260 °C
Kiertopiirien lukumäärä	2
Höyrystinputkien lukumäärä/höyrystin	51

PPOOLEX – KIEHUTUSVESIREAKTORIN SUOJARAKENNUKSEN MALLI

Tilavuus	31 m ³
Korkeus	7,45 m
Halkaisija	2,4 m
Maksimipaine	0,5 MPa

siivinen lämmönpoistojärjestelmä. PASI koostuu höyryjärjestelmästä, avoimesta luonnonkiertojärjestelmästä ja mittaus- ja tiedonkeruujärjestelmästä.

Höyryjärjestelmä sisältää höyryn tuoton, suojarakennuksen olosuhteita simuloivan paineastian ja kondenssiveden poistojärjestelmän. Höyry tuotetaan MOTEL-laitteistolla ja johdetaan puskurisäiliöön. Puskurisäiliössä on pieni sähkölämmittimen höyryn kosteuden vähentämistä tai jopa tulistusta varten. Höyry johdetaan puskuritankista suojarakennusta kuvaavaan astiaan, jossa on 5 barin paine suojarakennuksen olosuhteiden simuloimiseksi. Höyry suojarakennusastiassa kondensoituu lämmönvaihdininputkien pinnoille ja astian seinille. Kondenssivesi kerätään astian pohjalta pieneen säiliöön ja siitä edelleen viemäriin.

Avoin luonnonkiertojärjestelmä koostuu lämmönvaihtimesta, jossa on 15 lämmönvaihdininputkea, kaksi kollektoria, nousuputki ja sirotin sekä alatila, josta on avoin yhteys vesialtaaseen muodostaen lämmönpoistopiirin. Nousuputki ja alatila sisältävät lähes vaakasuoria osia.

Nousuputken ja altilan halkaisijat on skaalattu säilyttämään suhteelliset painovoiman ja kitkan aiheuttamat painehäviöt koelaitteiston ja referenssin välillä. Lämmönvaihdininputkiston pääosat, kuuma kollektori ja nousuputken sisään-tulo ovat suojarakennusastian sisällä. Lämmönvaihdininputket lävistävät suojarakennusastian pohjan ja täten kylmä kollektori on astian ulkopuolella. Lämmönvaihdininputket ovat kollektorien välissä kahdessa rivissä kolmiohilassa.

Muistinvaraista tietoa PASI-laitteistosta on tekstissä vahvistettu viitteestä³ peräisin olevin tiedoin.

MOTEL

MOTEL (MOdular TEst Loop) on nimensä mukaisesti modulaarinen SMR integraalikoelaitteisto, jolla ei ole suoraa referenssilaitostyyppiä, vaikka MOTELilla on yhtymäkohtia NuScale SMR:ään. MOTELin neljä päämodulia on kasattu päällekkäin. Moduulit ovat vaihdettavissa, joten laitteistolla voidaan simuloida erilaisia SMR-reaktoreita.

Laitteiston pääosa, eli paineastiapaketti, koostuu neljästä päällekkäin asetetusta modulist, jotka ovat sydän, lisäosa/laajennusosa, höyrygeneraattori ja paineistin. Moduulit on liitetty toisiinsa suurilla laipoilla ja koko laitteisto on kiinnitetty tukevasti ympäröivään kehikkoon/tukirakenteeseen. Modulien ulkoseinät muodostavat yhdessä SMR:n paineastian ulkokuoren.



ATS-Seniorit lintuperspektiivistä nähtyinä asiaan kuuluvissa turvavarusteissa MOTEL- ja PASI-koelaitteistojen hallissa. Isäntämme Heikki Suikkanen melkein piilossa koelaitteiston takana (kuva: Riitta Kyrki-Rajamäki).

MOTEL-laitteistossa pääosassa on sydänmoduli. Tyypillisesti integraalikoelaitteistossa sydän ja lämmityselementit ovat pitkiä ja kapeita, jotta säilytetään korkeuden skaalaus suhteessa 1:1 referenssilaitokseen nähden. MOTELissa tätä käytäntöä ei ole noudatettu, vaan sydän on suunniteltu leveämmäksi ja matalammaksi kuin tavallisesti, jotta voidaan tutkia sekä aksiaalisia että radiaalisia virtausilmiöitä sydänalueella. Sydämen lämmityselementtien design on geneerinen eikä edusta suoraan mitään olemassa olevan reaktorin polttoainetyyppiä. Lämmityselementit ovat sydämessä neoliölilassa.

Kierreputkihöyrystin (helical coil steam generator) on olennainen piirre MOTELissa. Tämän tyyppisessä höyrystimessä sekundäärivirtaus ja kiehuminen tapahtuu höyrystinputkien sisällä, kun taas primääripuolen vesi virtaa putkien ulkopuolella höyrystinputkinippujen vaippapuolella (shell side).

MOTELissa paineistin on paineastian yläosassa. Paineistimessa on kaksi lämmityselementtiä, jotka mahdollistavat paineen säädön halutuksi testilaitteistossa. Normaalkäytön aikana primääripuoli on täytetty vedellä halutulle tasolle paineistajassa. Päävaroventtiili (turvaventtiili) on paineastian yläosassa.

MOTEL edustaa integraalista SMR-koelaitteistoa, jossa koko primääripiiri on reaktoripaineastian sisällä. MOTELin



Laboratoriossa ihailimme erityisesti upouutta edellisenä päivänä saapunutta virtausmittauslaitteistoa, joka perustuu coriolis-ilmiöön ja jolla pystytään mittaamaan kaksifaasivirtausta. On todettava, että jotkin haaveet tässä maailmassa vielä toteutuvat. Laitteistoa esittelemässä Lauri Pyy (kuva: Riitta Kyrki-Rajamäki).

primääripiiri toimii passiivisesti luonnonkierrolla, joten primääripuolella ei tarvita kiertovesipumppuja. MOTELin sekundääripuolella syöttövesi pumpataan vesivarastosta jakoputkiston kautta neljään kollektoriin, joista jokainen jakaa veden edelleen neljään höyrystinputkeen.

MOTEL-laitteiston osalta muistinvarais- ta tietoa on vahvistettu lähteestä⁴ peräisin

olevin tiedoin. Koko ydintekniikan laboratorion koetoiminnasta löytyy erinomainen kokooma-artikkeli viitteestä⁵.

RATAJÄTKÄT

Päivän päätteeksi vierailimme Etelä-Karjalan museossa Lappeenrannan keskustassa Linnoituksen komealla mäellä



Juntta, juntaussakki ja junttalukkari [6, sivu 385].



Urheat retkeläiset päivän päätteeksi yhteiskuvassa Etelä-Karjalan museon pihalla (kuva: Riitta Kyrki-Rajamäki).

Saimaan rannalla. Vakituksessa näyttelyssä on siellä esillä museon ylpeys, suurikokoinen toistakymmentä neliömetriä oleva tarkka pienoismalli Viipurin keskustasta ajalta juuri ennen viime sotia. Saimme opastusta myös muun muassa paikalliseen ruokakulttuuriin ennen ja nyt.

Varsinainen kohteemme oli näyttely Ratajätäkät. Se perustui Työväenmuseo Werstaan johtaja Kalle Kallion väitöskirjaan, josta on ilmestynyt myös kirja⁶.

Suomen erämaita halkovat ratalinjat on suurelta osin rakennettu lapioilla ihmisvoimin. Monet työläiset ottivat työmaalle myös perheensä mukaan, vaikka asuinolot olivat kurjat. Topparoikkina toimi myös

naisryhmiä, mutta heille maksettiin paljon vähemmän, samoin kuin vielä vähemmän kantajina toimineille lapsille. Höyrylapiot eli ensimmäiset kaivinkoneet ilmestyivät vasta myöhemmin.

Vaikutuksen teki perustuspaalujen juntaustapa maahan miesvoimin. Suuri kivi vedettiin telineen tukemana kymmenkunnalla köydellä korkealle ilmaan ja pudotettiin paalun päähän, ja uudestaan. Palkattu junttalukkari lauloi vedoille yhteisen tahdin ja laulujen sanat senkun hurjistuivat väsymyksen kompensoimiseksi päivän mittaan. Junttalaulut olivat aikoinaan kyseenalaisen kuuluisia. Siltojen perustusten tekoon tarvittiin sukeltajia raskaine sukelluspukuineen.

Näyttelyn innoittamina reissumme miehet tarttuivat myös itse lopuksi lapioihin ja ryhtyivät työntöhommiin, kun pysäköintipaikan tuoreen lumen auraustasosta tapahtui henkilöautoilijalle virhearvio. Tällä kertaa ihmisvoimat eivät kuitenkaan riittäneet ja tarvittiin rautaisen kuljettajamme pikkubussin voimia auton irti nykäisyyn lumikasasta. Ilman enempää dramatiikkaa selvisimme yöksi kotiin. 

Joonas Telkkä, LUT on tehnyt artikkelin yhteydessä olevat tietolaatikot koelaitteistoista ja Heikki Suikkanen, LUT on tarkistanut tekstin tekniset tiedot, mistä molemmille parhaimmat kiitokset.

- 1 Pyy, L., Kotro, E., Karppinen, J., Räsänen, A., Kouhia, V., General Description of CRAFTY – First Edition, Report C-FLOW D1.2.1, 31.10.2023, LUT School of Energy Systems, Nuclear Engineering. Customer VYR/SAFER2028.
- 2 Jääskeläinen, E., Radiometrisen mittalaitteen käyttö alijäähtyneen veden kiehumispisteen paikallistamisessa kriittisessä virtauksessa ohuessa putkessa, Lappeenranta–Lahden teknillinen yliopisto LUT, Energiatekniikan kandidaatintyö 2024.
- 3 Telkkä, J., Riikonen, V., Räsänen, A., Kotro, E., Hyvärinen, J. (2023). Efficiency of Passive Open Loop Heat Removal Over Wide Range of Loop Flow Resistances– PASI Loop Tests in the EU PASTELS Project. Proceedings of the 20th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-20). 3285. pp. 1716-1726.
- 4 Telkkä, J., Suikkanen, H., Kotro, E., Räsänen, A., SMR Experiments with the MOTEL Test Facility within the Euratom Project McSAFER, Nuclear Science and Technology Symposium - SYP2022 Helsinki, Finland, 1-2 November 2022.
- 5 Hyvärinen, J., Riikonen, V., Telkkä, J., Hujala, E., Kouhia, V., Puustinen, V., Patel, G., Pyy, L., Vihavainen, J., Suikkanen, H., Rintala, V., Creating the foundations for safe nuclear power in Finland – Thermal hydraulics, safety analyses, safety justification methods research at the LUT University, 2000–2023, Nuclear Engineering and Design 419 (2024) 112935.
- 6 Kallio, K., Ratajätäkät, Rautatien rakentajien kokemukset 1857-1939, ISBN 978-951-858-314-4, ISSN 2323-7392, www.skiskirjat.fi, Helsinki 2022.

VUOSIKOKOUS 2025 TIETEIDEN TALOLLA

ATS-vuosikokous järjestettiin maanantaina 10.3. tutuksi tulleella Tieteiden talolla Helsingissä. Kokoukseen osallistui 32 jäsentä paikan päällä ja 17 etäyhteyden kautta.

Teksti: Tommi Lyytinen

Vuoden 2024 aikana ATS:n tapahtumiin kertyi yhteensä noin 770 osallistumista, mikä on hieman edellisvuotta enemmän ja samalla tasolla kuin SYP-vuonna 2022. Vuosikokouksen ja syysseminaarin lisäksi vuoden kohokohtia olivat jäsentapahtuma Raumalla sekä risteily Helsingin edustalla.

ATS YG järjesti perinteisen Summer Symposiumin Hausjärven Villa Vatkulassa sekä yritysvierailut VTT:n FiR 1 -tutkimusreaktorille ja Konecranesin tehtaalle Hämeenlinnaan. ATS Seniorit puolestaan järjestivät muun muassa puhujalounastilaisuuden Helsingin Lasipalatsissa.

Women in Nuclear (WiN) panosti vuoden aikana erityisesti viestintään sosiaalisessa mediassa sekä verkostoitumistilaisuuksien järjestämiseen ydinvoima-alalla työskenteleville naisille. Lisäksi WiN osallistui webinaarien järjestämiseen yhteistyössä WiN Sveitsin kanssa.



FM Tommi Lyytinen
ATS:n johtokunnan sihteeri
sihteeri@ats-fns.fi

KOKOUKSEN KULKU

ATS:n vuosikokouksessa kokouksen puheenjohtajaksi valittiin totuttuun tapaan seuran edellinen puheenjohtaja Markus Airila. Hänen johdolla käsiteltiin muun muassa vuoden 2024 toimintakertomus ja tilinpäätös, päätettiin myöntää tili- ja vastuuvapaus edelliselle johtokunnalle sekä valittiin uusi johtokunnan puheenjohtaja ja jäsenet. Kokouksessa hyväksyttiin myös vuoden 2025 toimintasuunnitelma ja talousarvio.

Seuran taloustilanne todettiin hyväksi, ja ATS on hyvin varautunut syksyllä järjestettäviin Suomalaisen Ydintekniikan Päiviin (SYP). Vaikka jäsenmaksun maksaneiden jäsenten määrä on hieman laskenut, kannatusjäsenten määrä on sen sijaan kasvanut. Tämän kehityksen myötä kokous päätti johtokunnan esityksen mukaisesti pitää jäsenmaksut ennallaan. Jäsenmaksujen tasoa tullaan kuitenkin arvioimaan uudelleen ensi vuoden vuosikokouksessa, sillä nousevat yleis-

Keskellä Erkki Laurila -palkinnon saaja Tomas Lindén. Vasemmalla seuran nykyinen puheenjohtaja Hanna Tynys. Oikealla seuran väistyttyvä sihteeri Jenna Järvenpää (kuva: Samuli Siltanen).

kustannukset edellyttävät pitkän aikavälin taloudellista tasapainottamista.

Kokouksen päätteeksi jaettiin Erkki Laurila -palkinto Tomas Lindénille (Helsingin yliopisto) vuoden parhaasta ATS Ydintekniikka -lehden artikkelista "Fuusioyhtiötä Pohjois-Amerikan luoteisosassa" (ATS Ydintekniikka 2/2024). Palkinnonjaon jälkeen Lindén piti esitelmän artikkelinsa pohjalta. Esitys tarjosi kattavan katsauksen useisiin fuusioalan yrityksiin, joita havainnollistettiin kirjoittajan itse ottamin valokuvin.

Esitelmä herätti runsaasti keskustelua ja kysymyksiä muun muassa fuusioyritysten haasteista, aikatauluista, Euroopan ja Yhdysvaltojen välistä kilpailuasetelmasta sekä alan rahoituskanavista. Lisäksi siivuttiin fuusioenergian sääntelyyn liittyviä vaatimuksia Suomen lainsäädännön näkökulmasta.

UUSI JOHTOKUNTA JA VUODEN 2025 TOIMINTASUUNNITELMA

ATS:n johtokuntaan valittiin viisi uutta jäsentä, kun toimikaudet päättyivät rahastonhoitaja Elina Syrjälahdelta (TVO) ja Antti Snickeriltä (VTT). Lisäksi Samuli Siltanen (Helsingin yliopisto) ja Jenna Järvenpää (VTT) ilmoittivat, etteivät ole käytettävissä uudelle kaudelle. Seura kiittää lämpimästi väistyviä jäseniä heidän arvokkaasta panoksestaan seuran toimintaan.

Uusiksi johtokunnan jäseniksi valittiin Tommi Lyytinen, Antti Hakola ja Jaakko Leppänen VTT:ltä, Jani Huttunen TVO:lta sekä René Bes Helsingin yliopistosta. Uusien jäsenten esittelyt löytyvät seuraavalta aukeamalta. Johtokunnan sisäisessä työnjaossa Tommi Lyytinen valittiin sihtee-





ATS:n vuosikokous pidettiin Tieteiden talon suuressa salissa (kuva: Samuli Siltanen).

riksi ja Antti Hakola varapuheenjohtajaksi. Rahastonhoitajaksi valittiin johtokunnan nykyinen jäsen Topi Tupasela (STUK).

Seuran toiminta jatkuu aktiivisena myös vuonna 2025. Vuosikokouksen jälkeen järjestettiin kotimaan ekskursio Kajaaniin 4.–5. huhtikuuta, jonka aikana tutustuttiin CSC:n ja Terrafamen toimintaan. Vuoden merkittävin tapahtuma on syksyllä järjestettävä Suomalaisen Ydintekniikan Päivät, joka pidetään Hanasaressa, Espoossa.

Vuoden aikana järjestetään lisäksi seminaareja ja webinaareja, joita täydentävät toimintaryhmien Young Generation (YG), Seniorit ja WiN (Women in Nuclear) omat tilaisuudet. ATS Ydintekniikka -lehti ilmestyy tuttuun tapaan neljä kertaa vuodessa maltillisesti uudistetulla ulkoasulla. Uutena avauksena sanastotoimikunta aloittaa työnsä ydinenergia-alan sanaston päivittämiseksi. Aiemmin ATS kokosi ydintekniikan sanastoa vuonna 2013. 

RENÉ BES

I graduated as a PhD in Physics from the University of Lyon (France) in 2010, having studied fission products behaviour in nitride cladding materials for next generation, fast neutron nuclear reactors, using ion beam analysis and synchrotron based experiments among many other characterization techniques. After my thesis, I spent two years at CNRS (France), studying the behaviour of helium in the French nuclear waste glass matrix in the scenario of increasing the loading of radionuclides per volume unit. The next two years were spent as beamline scientist at the French synchrotron radiation facility SOLEIL, developing an X-ray emission spectrometer for the physico-chemical study of fission products and minor actinides in spent nuclear fuels at the dedicated beamline MARS.

I then moved to Aalto University in 2015, where I developed a positron lifetime spectrometer with the aim of measuring defects in fresh nuclear mixed oxide fuels. In 2019, the positron group moved to the University of Helsinki, and I followed getting a permanent position at the X-ray laboratory where I am developing advanced instrumentations and methods for actinide studies, including a pioneering work for laboratory spectrometer for X-ray absorption spectroscopy.

My research is focusing on nuclear fuel behaviour along its full cycle, with an emphasis of X-ray based methods for elemental analysis and structural characterization of actinides not only from a fundamental perspective but also on the nuclear fuel application, in strong collaboration with the local radiochemistry laboratory, but also international partners such as CEA and SCK.



ANTTI HAKOLA

Aloitin teknillisen fysiikan opiskelut silloisessa Teknillisessä korkeakoulussa melkein 30 vuotta sitten, ja sain kääntäen diplomi-insinöörin paperit vuonna 2001. Koska uranäkymät eivät olleet tuossa vaiheessa vielä kovin selvät, oli luonnollista hengailla yliopistolla vähän pidempään. Väitöskirjani valmistui vuonna 2006 magneettisiin muistimetalleihin sekä lasersäteiden muokkaamiseen liittyvistä osakokonaisuuksista. Varsin kaukana oltiin tässä vaiheessa mistään, mikä ATS:n toimintaan edes etäisesti liittyisi! Mutta niin vain kävi, että muutaman vuoden päästä löysin itseni VTT:ltä selvittäessä fuusioreaktorin kuumen plasman ja seinämämateriaalien välisiä vuorovaikutuksia. Tätä urapolkua olenkin nyt seurannut jo yli 15 vuoden ajan.

Fuusiotutkijan työkenttään on mahtunut kaikenlaista: mittausten tekemistä laboratoriossa, koekampanjoihin osallistumista eri fuusiolaitteilla, reissaaamista ympäri maailmaa sekä viime vuosina ennen kaikkea tutkimuksen koordinoimista eurooppalaisen EUROfusion-konsortion alaisuudessa. Sertifioidun projektipäällikön (IPMA C) pätevyys hankin vuonna 2021, ja näistä opeista on ollut paljon hyötyä nykyisissä projektipäällikön ja johtavan tutkijan tehtävissäni. Jos nyt jotain vapaa-aikaa jää, täytän sen urheilulla, sanaristikoilla ja marjastuksella hilla- ja karpalosoita myöten.



JANI HUTTUNEN

Opiskelin Kuopion yliopistossa, ja myöhemmin yliopiston nimen muuttuessa Itä-Suomen yliopistossa, Sovelletun fysiikan laitoksella. Kandidatutkielmassa käsiteltiin teollisuuden sekoittumisprosesseja tehtynä yliopistossa ja maisterin tutkielmassa sekä väitöskirjassa ilmakehän pienhiukkasten roolia säteilynkulussa, jotka tein Ilmatieteen laitoksessa. Olin tutkimusharjoittelijana ja tutkijana kunnes siirryin teollisuuden palvelukseen.

Aloitin TVO:ssa kesällä 2017 polttoaineinsinöörinä ja työtehtäviini on kuulunut varsinkin käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen liittyvät tehtävät, mm. käytetyn ydinpolttoainetietokannan kehitystyö, loppusijoituksen optimointi ja käytetyn ydinpolttoaineen luvitusaineiston kokoaminen. Tehtäviini kuuluu työskentely niin molempien voimayhtiöiden, Fortumin ja TVO:n, kuin Posivankin asiantuntijoiden kesken sekä myös viranomaisten suuntaan ts. STUK, IAEA ja EC. Tehtäväkenttäni on laajentunut viime aikoina käsittämään myös ydinmateriaalivalvonnan. Vapaa-ajalla mielelläni vietän aikaa perheen kesken ja pyrin viettämään aikaani myös luonnossa, vaikka metsästyks ja kalastus onkin jäänyt melko vähälle viime aikoina.



JAAKKO LEPPÄNEN

Aloitin opinnot Teknillisessä korkeakoulussa Otaniemessä vuonna 1995. Ensimmäisen vuoden opiskelin sähkötekniikkaa, mutta vaihdoin myöhemmin Teknillisen fysiikan osastolle. Sähkölle päädyin todennäköisesti Nokia-hypen huumassa, mutta osaston vaihdon taustalla oli jo alusta pitäen kiinnostus ydintekniikkaa kohtaan.

Valmistuin diplomi-insinööriksi vuonna 2002. Diplomityöni tein VTT:lle Monte Carlo -palamalaskennasta. Muutama vuosi valmistumisen jälkeen aloin puuhastella oman Monte Carlo -transportlaskentakoodin parissa. Vapaa-ajan projekti kasvoi väitöskirjaksi, joka valmistui vuonna 2007. Olen ollut koko työurani VTT:llä, lukuun ottamatta reilun vuoden mittaista tutkijavaihtoa Oak Ridge National Laboratoryssä USA:ssa vuosina 2009–2010. Työnkuvaani on kuulunut vahvasti Monte Carlo -menetelmäkehitys. Vapaa-ajan puuhastelusta lähteneellä Serpent-koodilla on nykyisin varsin laaja kansainvälinen käyttäjäkunta.

Tutkimustyön lisäksi opetan Aalto-yliopistossa kolme kurssia liittyen ydintekniikan perusteisiin, reaktorfysiikkaan sekä Monte Carlo -menetelmään. Merkittävien sivujuonne työurallani on kuitenkin ollut vuonna 2020 VTT:llä käynnistynyt kaukolämpöreaktorin kehityshanke, jossa olin vetämässä reaktorin teknistä kehitystä. LDR-50-reaktorin kehitys on sittemmin siirtynyt vuonna 2023 perustetulle Steady Energylle. VTT on edelleen hankkeessa mukana alihankkijan roolissa, mutta olen viime aikoina päässyt myös palaamaan juurilleni Monte Carlo -menetelmäkehityksen pariin.



Johtokunnan uudet jäsenet esittelyssä

TOMMI LYYTINEN

Aloitin fysiikan opinnot Jyväskylän yliopistossa vuonna 2018. Opintojen alkuvaiheessa minua kiinnosti teoreettisen fysiikan aihepiirit, ja pohdin myös uraa lääketieteellisen fysiikan parissa. Kuitenkin toisen opiskeluvuoden jälkeinen kesäharjoittelu Loviisan voimalaitoksen jätehuollon parissa vahvisti orastavaa kiinnostustani ydinenergia-alaa kohtaan ja ohjasi urasuunnitelmia sen suuntaan.

Kandidaatiksi valmistuttuani hain tutkimuspainotteisiin tehtäviin ja päädyin hieman yllättäen Aalto-yliopiston fuusiotutkimusryhmään tutkimusapulaiseksi. Siellä menin sitten kaksi seuraavaa kesää ja syksy, joiden aikana tein sekä erikoistyöni että graduni neutronien mallintamisesta stellaraattori-fuusioreaktorissa.

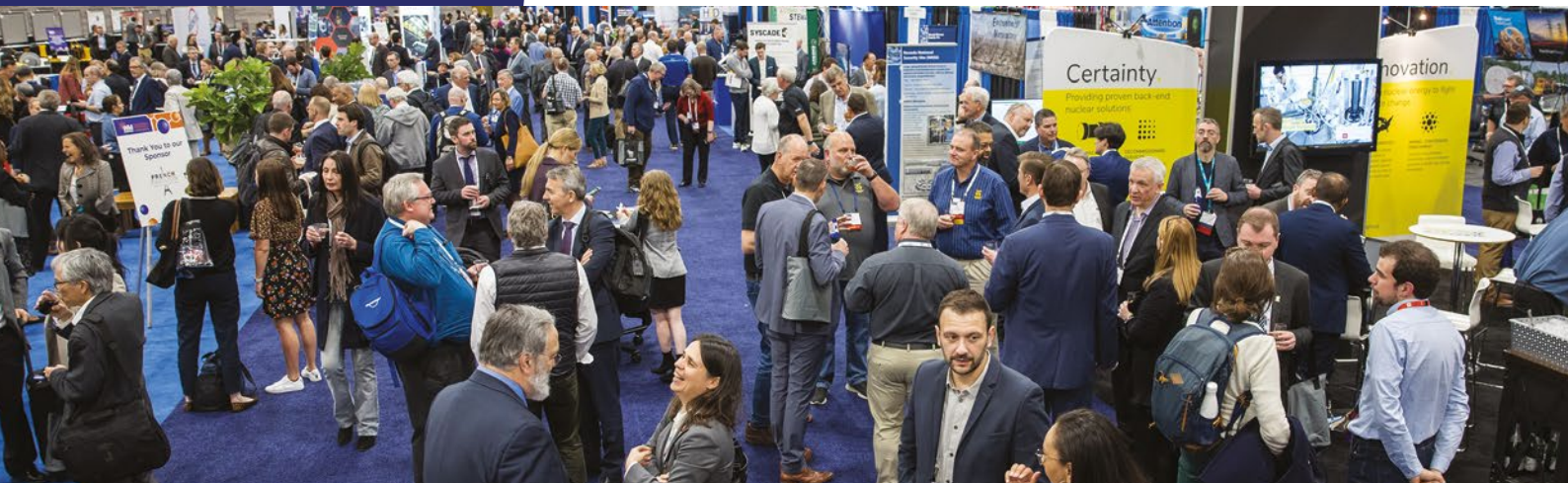


Valmistuttuani maisteriksi vuonna 2023 pääsin jatkamaan fuusioenergian parissa VTT:llä, kun tarjoutui mahdollisuus liittyä fuusioenergia-tiimiin graduni ohjaajan Antti Snickerin jalanjäljissä. Tällä tiellä olen edelleen: mallinnan fuusioreaktoreiden neutroniikkaa Monte Carlo -menetelmällä ja työstän samasta aihepiiristä myös väitöskirjaani.

Vapaa-ajalla nautin monipuolisesta liikunnasta. Olen mukana VTT:n soutu-, sulkapallo- ja koripallokerhoissa, ja lisäksi käyn salilla sekä lenkkeilen säännöllisesti.



EFFICIENT AND INNOVATIVE NUCLEAR MATERIALS AND TECHNOLOGY SOLUTIONS



JOIN US AT WM2026

The 52nd annual **Waste Management Symposia**, where the global nuclear waste community comes together to tackle complex challenges. This premier forum offers a dynamic space to explore safe, cost-effective solutions for radioactive waste management and nuclear facility decommissioning. Connect with **3,000 industry professionals from 30+ countries**, exchanging ideas, addressing critical technical issues, and shaping the future of nuclear waste solutions.

SPOTLIGHT ON FINLAND

We are thrilled to feature **Finland** as the WM2026 **Feature Country**. Leading Finnish experts will highlight groundbreaking achievements and hard-earned lessons from decades of innovation. The ONKALO project nears operational licensing, while Finland pushes forward with national legislation reviews paving the way for streamlined deployment of **Small Modular Reactors (SMRs)**. Finland's nuclear sector is thriving, with key milestones such as the **Olkiluoto 3 EPR** completion and the decommissioning of the **Triga F1R1** research reactor, driving advancements in supply chains and waste management.

WHAT TO EXPECT

WM2026 delivers unmatched opportunities to engage with top experts through **600+ technical papers, 100+ panels, and over 200 industry exhibitors**. Paper abstracts for all 12 Tracks are due August 22, 2025. Don't miss the **Finland Pavilion**, where nuclear organizations and industries will showcase their expertise and innovations. Be part of **WM2026**—where industry leaders, researchers, and policymakers unite to drive the future of nuclear waste management.

For more information contact: info@wmsym.org.

SAVE THE DATE

MARCH
8-12
2026

PHOENIX
CONVENTION
CENTER

wmsym.org

#WMSYM2026

OTANIEMEN MIILU HERÄÄ HENKIIN PRAHASSA

Suomen ensimmäinen ydinreaktori rakennettiin Otaniemeen jo vuonna 1958. Kyseessä ei siis ollut tutkimusreaktori Triga, joka saavutti ensimmäisen kriittisyyden vuonna 1962, vaan sen edeltäjä alikriittinen eksponentiaalimiilu. Miilun käyttö hiipui 1960-luvun aikana ja se purettiin varastoon 1970-luvun alussa. Nyt yli 50 vuoden kooman jälkeen miilu on saanut uuden elämän Prahassa Tšekin teknillisessä yliopistossa!

Teksti: Jarmo Ala-Heikkilä

Kuvat: CTU (České vysoké učení technické v Praze, Tšekin teknillinen yliopisto)

Suomen ensimmäisen ydinreaktorin nimeäminen on oivallinen tietokilpailukysymys. ATS Ydintekniikan numerossa 1/2025 kerrottiin useamman artikkelin voimin tutkimusreaktori Trigan eli FiR 1:n käytöstäpoistosta. Reaktorin virallisemmasta nimestä voisi päätellä, että kyseessä olisi ollut Suomen ensimmäinen reaktori, mutta tämäpä onkin kyseenalaista.



TkT Jarmo Ala-Heikkilä
asiantuntija,
ATS Ydintekniikan päätoimittaja
Aalto-yliopisto
jarmo.ala-heikkila@aalto.fi

Samalle Teknillisen korkeakoulun tonille Otaniemessä ehdittiin nimittäin rakentaa alikriittinen reaktori eli miilu jo nelisen vuotta FiR 1:tä aikaisemmin. Jaakko Leppäsen kirjoittama perusteellinen kuvaus miilusta löytyy ATS Ydintekniikan numerosta 1/2022 otsikolla "Suomen ensimmäinen ydinreaktori". Onkohan reaktorien numerointi siis aikanaan aloitettu nolasta?

MIILU-URAANI PRAHAAN

Miilu-artikkelin mukaisesti Otaniemen miilun rakenteet purettiin 1970-luvun alussa uudisrakennuksen tieltä ja miilun uraanit varastoitiin turvallisiin kassakaappeihin, ihan safeguards-vaatimusten mukaisesti. Näille TKK:n ydinaineille ei vuosikymmenten aikana keksitty uutta käyttöä ja ne siirtyivät perintönä Aalto-yliopistolle. Sitten vuonna 2012, kun VTT teki päätöksen FiR 1:n käytöstäpoistosta, miilu-uraanille täytyi alkaa etsiä uutta sijoituspaikkaa.

Erinomaisen uuden sijoituspaikan löytymisestä voidaan kiittää TKK:n Pertti Aarniota, VTT:n Iiro Auterista ja CTU:n

Ľubomír Sklenkaa. Muiden vaihtoehtojen selvittelyn jälkeen oli päivänselvää, että uraanin siirtäminen Tšekin teknillisen yliopiston hallintaan ja alkuperäisen kaltaiseen opetuskäyttöön oli ilmiselvä win-win-ratkaisu. Paperisota vei aikansa, minkä jälkeen uraanierän siirto saatiin toteutumaan vuonna 2018.

Pääsin haastattelemaan CTU:n professori Filip Fejtia maaliskuussa 2025, kun vein Aalto-yliopiston ja LUT-yliopiston opiskelijaryhmän tekemään reaktoritöitä CTU:n VR-1-tutkimusreaktorille. Allaoleva kuvaus perustuu tähän haastatteluun.

REAKTORITÖIHIN RIITTÄÄ OPIKELIJOITA

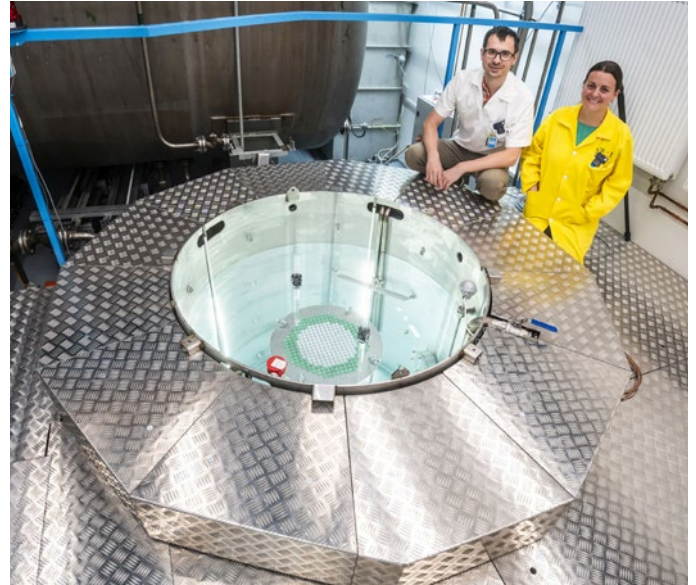
CTU:n tutkimusreaktori VR-1 saavutti ensimmäisen kriittisyyden vuonna 1990 (<https://reaktor-vr1.cz/en/>). VR-1 on nykyään tšekkiläisten ja ulkomaisten opiskelijoiden ja tutkijoiden ahkerassa käytössä, joten CTU:lla alkoi olla selkeätä tarvetta lisäreaktoriajalle. CTU:n ydintekniikan laitoksella on toki muita opetuslaitteita, mutta ei muita fissioneutronien lähteitä kuin VR-1 – ja nyt VR-2.

VR-1:llä annettavaan opetukseen osallistuu vuosittain noin 15–20 CTU:n omaa opiskelijaa ja muita kotimaisia opiskelijoita saman verran. Kansainvälisiä 1–2 viikon koulutuksia on vuosittain 12–15, joista kuhunkin osallistuu 10–12 opiskelijaa. Tänä vuonna reaktorille tulee opiskelijoita Slovakiasta, Suomesta, Ruotsista, Iso-Britanniasta, Yhdysvalloista ja Espanjasta. Tämän lisäksi VR-1:llä vieraillee vuosittain noin 500 lukiolaista.

VR-1:llä on vain harvoja kilpailijoita Euroopassa. Tämä johtuu Filip Fejtin mukaan siitä, että tutkimusreaktoritoiminta ei ole taloudellisesti kannattavaa pitkällä aikavälillä, jos pääasiallinen käyttö on koulutus eikä isotoppien tuotanto tai muu teollisuuden palvelutoiminta. Tutkimusreaktoritkin kärsivät ikääntymisilmiöistä, joten niiden ylläpitoon tarvitaan rahoitusta. Onneksi Tšekin hallitukset ovat ymmärtäneet koulutusreaktorin arvon osaamisen ylläpitäjänä.

RAKENNUSPROJEKTI VENYI

Kun CTU suunnitteli toista fissiolaitetta VR-1:n rinnalle, he odottivat polttoaineen olevan kallein investointi. Otaniemen miilu-uraani siirrettiin kuitenkin Aallosta Prahaan kohtuullista korvausta vastaan. Siirron myötä yhteistyö on tiivistynyt CTU:n sekä Aallon ja LUT:n välillä, mikä näkyy jatkaväisen reaktoriyökurssin muodossa.



↑ VR-2 on avoimessa vesialtaassa, joka on rakennettu CTU:n reaktorihallin alatasolle. Mittakaavan voi päätellä kuvan kahdesta standardi-insinööristä.

← Ydintekniikan professori Filip Fejt CTU:n reaktorihallissa. Etualalla miilun polttoainesauvojen kuljetussäiliö, josta Filip vetää esiin yhden miilun uranisauvoista.

Polttoaine oli ensimmäinen hankinta VR-2-miilua varten vuonna 2018. Miilun suunnittelu ja rakentaminen oli tarkoitus hankkia teollisuudelta, mutta hintataso oli liian korkea, joten CTU päätyi yliopiston omaan suunnitteluun, lisensointiin ja valmistukseen.

Kesken kaiken iski vielä Covid-pandemia, joka hidasti etenemistä vuosina 2020–2022 ja nosti muun muassa teräksen hintaa. Hintatason noususta huolimatta hankinnat tehtiin suunnitelman mukaisesti budjettivaroilla, jotta ne eivät päässeet vanhentumaan. Reaktorin rakennesuunnittelu ja itse rakentaminen olivat haastavia yliopistotoimijalle, mutta toisaalta uuden fissiolaitteen turvallisuusanalyysit sujuivat CTU:lta ongelmitta.

Projektin etenemistä auttoi, että valvova viranomainen oli avulias paperitöiden kanssa. Kuten monessa muussa maassa, Tšekissäkin ydinlainsäädäntö on kirjoitettu voimalaitoksia varten, joten alikriittisen reaktorin suunnittelussa säännöstöä jouduttiin pohtimaan ja tulkitsemaan uudesta näkökulmasta.

Jotkin tärkeät VR-2-komponentit, kuten reaktoriastia ja lämmittimet, ostettiin ulkopuolelta. Suunnittelua jouduttiin tekemään useampaan kertaan ydintekniikan laitoksen suunnittelukokemuksen puutteen vuoksi. Rakennusprojektiin saatiin jonkin verran apua CTU:n muilta yksiköiltä: esimerkiksi rakennustekniikan laitos konsultoi betoniin liittyvissä asioissa.

KÄYTTÖ ALKAMASSA, KÄYTÄNTÖJÄ SUUNNITELLAAN

Maaliskuussa 2025 VR-2 oli käyttöönotto-vaiheen loppusuoralla. VR-2:n käyttöönottolupa on voimassa kaksi vuotta, ja sen voimassaolo päättyy kesäkuussa 2025, mikä kirittää käyttöluvan hakemiseen liittyviä paperitöitä. Kaikki rakennusvaiheen aikaiset uudelleensuunnittelut on saatava paperille, jotta VR-2 saadaan käyttöön tänä kesänä.

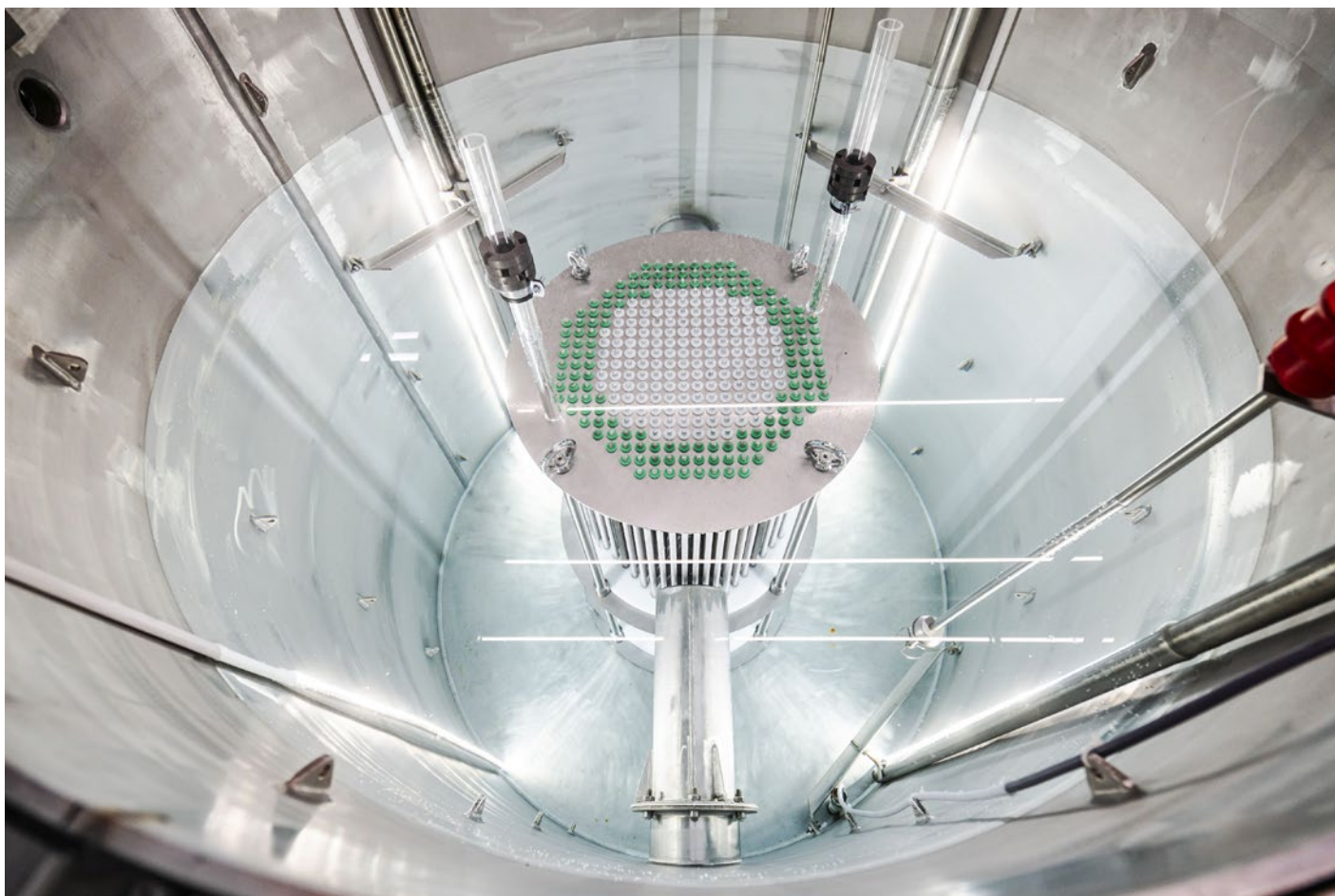
CTU:n ydintekniikan laitoksen henkilökunnasta osallistuu VR-1-reaktoritöihin 19 henkilöä, joista 12–14 on opettajia ja loput teknistä väkeä. Ihannetapauksessa kaik-

ki henkilöt voivat toimia kaikissa reaktorin käytön vaatimissa rooleissa: operaattorina, säteilyvalvojana ja vuoropäällikkönä. Tällä hetkellä CTU on aika lähellä ideaalia.

VR-2:n käynnistyminen ei ole johtamassa uusien työntekijöiden palkkaamiseen lähitulevaisuudessa. Itse asiassa VR-2:n käytön odotetaan vaativan vähemmän resursseja kuin sen rakentamisen ja käyttöönoton. VR-1:n lisensoidut henkilöt eivät saa automaattisesti VR-2-lisenssiä, vaan sillä on erillinen henkilöstön lupajärjestelmä. Pitemmällä aikavälillä VR-1 ja VR-2, jotka sijaitsevat samalla valvotulla alueella samassa reaktorihallissa, voivat jakaa osan käyttöhenkilöstöstä, mutta alkuvaiheessa niiden samanaikainen käyttö vaatii 3+3 henkilöä.

UUDENLAISIA TÖITÄ JA TUTKIMUSMAHDOLLISUUKSIA

Alikriittinen kokoonpano mahdollistaa erilaisia mittauksia kuin kriittinen reaktori. Valmistumisen jälkeen alkaa VR-2:n oppi-



Alikriittisen eksponentiaalimiilun sydän. Sydämen ylälevy voidaan nostaa paikaltaan, jolloin uraanisauvat pääsee vaihtamaan yksi kerrallaan.

lastöiden ja tutkimuksen tarkempi suunnittelu. Esimerkiksi lämpötilatakyntentöjä voidaan tutkia VR-2:lla helpommin kuin VR-1:llä, koska sen reaktoriastia on kerta-luokkaa pienempi.

Yksi esimerkki VR-2-tutkimusaiheesta on lämpötilakertoimien mittaaminen alhaisissa lämpötiloissa, jopa alle huoneenlämpötilassa. Tämä on VR-2:n ainutlaatuinen ominaisuus: pienen jäädytetilavuuden ansiosta vesi voidaan helposti jäädyttää tai lämmittää moniin lämpötiloihin.

Kertoimia voidaan mitata erilaisissa ylimoderoiduissa ja alimoderoiduissa kokoonpanoissa, koska VR-2:n polttoaine-hilaa voidaan säätää tukilevyjen avulla. Siinä on mahdollista toteuttaa neliöhila tai kuusikulmainen hila erilaisilla polttoaine-sauvojen etäisyyksillä. Tällä tavalla voidaan vertailla kattavasti laskentaohjelmien tuloksia kokeellisiin arvoihin.

Otaniemestä siirretty polttoainevara-sto sisältää sekä luonnonuraanisauvoja että 10%:n rikastettuja sauvoja. Niitä voidaan yhdistellä miilun eri tavoin, koska nii-

tä on huomattavasti enemmän kuin mitä kerrallaan voidaan asentaa käyttöön, kun kasvukerroin on rajoitettu lupaehdoissa 0,97:ään. Lisäksi VR-2:n neutronigeneraattoria, joka perustuu DT-fuusioreaktioon, voidaan käyttää pulssimoodissa, mikä antaa myös uusia mittaushetkittäisiä.

VR-2:n polttoainesauvojen palamat ovat mitättömiä, joten niitä voi käsitellä nitrilihanskat kädessä ilman säteilyvaaraa. Jopa opiskelijat voidaan päästää kosketuksiin uraanipolttoaineen kanssa, mikä ei ole lainkaan jokapäiväistä.

NÄKYMÄ

Alikriittisen miilun uusi elämä on siis alkamassa lähiaikoina uudessa paikassa ja ajantasaisella instrumentaatiolla varustetuna. Jos ei tule mitään yllättävää takapakia, niin Aallon ja LUT:n reaktoriöykurssille keväällä 2026 osallistuvat opiskelijat saatavat päästä tekemään koemittauksia VR-1-reaktorin lisäksi uusvanhalla fissiolaitteella, jolla on suomalaisia sukujuuria.

Esitän tässä vaiheessa lämpimät kiitokset Filip Fejtille haastattelusta ja onnittelen häntä ja muuta CTU:n väkeä VR-2-projektin valmistumisesta. Henkilökohtaisena arvioni totean, että Otaniemen miilu on nyt päässyt aivan oikeaan paikkaan osaavien, asiantuntevien ja omistautuneiden henkilöiden huomaan. 🌀

INNOVOINTIA YDINVOIMALAITOKSEN PERUSRATKAISUISTA

Ydinvoimalaitoksia on rakennettu sähköntuotantoon ja pienemmässä määrin lämmöntuotantoon jo 1950-luvulta asti. Monenlaisia konsepteja on kokeiltu vuosien varrella, mutta tällä hetkellä näyttää painevesireaktori jyräävän muut reaktorimallit. Kyllä siinäkin mallissa tapahtuu kehitystä, minkä näkee vertaamalla tuoreimpia voimalaitoksia 50 vuotta vanhempiin, mutta kehitys on enemmän evoluutiota kuin innovointia. Innovoinnille on silti mahdollisuuksia!

Teksti ja kuvat: Jarmo Ala-Heikkilä

Mäkelänrinteen uimahalli on erinomainen liikuntapaikka ja siellä on myös jälkipalavereja varten tilava ja hyvin varusteltu kahvio. Mäkelänrinne on eläkkeellä olevan insinööri Sulo Luomalan suosikkipaikkoja, joten oli luontevaa sopia helmikuinen haastattelutuokio sinne.



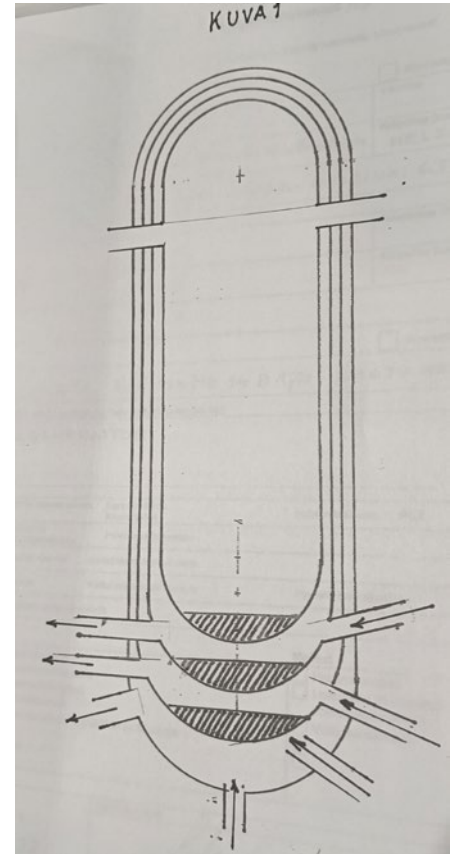
TkT Jarmo Ala-Heikkilä
asiantuntija,
ATS Ydintekniikan päätoimittaja
Aalto-yliopisto
jarmo.ala-heikkila@aalto.fi

MONITURVAPAINESIREAKTORI

Sulo meni kahvit saatuaamme välittömästi asiaan. Vuosituhannen vaihteessa ydinvoimayhteisö lanseerasi kuusi kappaletta uudenlaisia reaktorikonsepteja, jotka nimettiin neljännen sukupolven reaktoreiksi. Näiden ajateltiin pitemmällä aikavälillä korvaavan nykyiset kevytvesireaktorit, joihin verrattuna erityisesti polttoainetalous olisi parempi hyödyn ja kierrätyksen ansiosta.

Yksi kuudesta konseptista käyttää jäähdytteenään vettä, mutta huomattavasti korkeammassa paineessa kuin painevesireaktorit (PWR) saati kiehutovesireaktorit (BWR). Kun paine nostetaan veden kannalta ylikriittiselle tasolle noin 25 MPa:han, vedessä ei tapahdu faasimuutosta eli se ei kiehu. Kuuma paineistettu neste voidaan johtaa BWR:n tapaan reaktorista suoraan turbiineille, jolloin päästään entistäkin yksinkertaisempaan rakenteeseen sekä parempaan termiseen hyötysuhteeseen.

Tämän konseptin nimi on ylikriittisellä vedellä jäähdytetty reaktori eli supercriti-



Sulo Luomalan monikerrospaineastian konseptikuva patenttihakemuksesta.

cal water reactor (SCWR). Kun ylikriittisyydellä on reaktorifysiikassa toinenkin merkitys, joka varsinkin etukäneeillä "kerkeä" kuvastaa vältettävää tilannetta, niin nimeä ei voi pitää markkinoinnin kannalta onnistuneena. Sulon mielestä sopivampi termi olisi moniturvapainevesireaktori, koska SCWR on jopa nykyisiä kevytvesireaktoreita turvallisempi.

INNOVATIIVINEN PAINEASTIA

Sulo Luomalan koulutustausta on tienrakennuksen opistoinsinööri. Suomen ilma-voimat koulutti hänestä hävittäjälentäjän. Pitkän työuran jälkeen eläkkeellä Sulo on keskittynyt erityisesti ydinenergia-alan innovaatioihin.

Sulon tärkein innovaatio, josta hänellä on patentti Suomessa ja 160 muussa maassa, on monikerroksinen paineastia kevytvesireaktoriin. Paineastiaa voi verrata itänaapurin maatuska-nukkeen, jossa suurimman kuoren sisällä on pienempi, jonka sisällä on pienempi, jonka...

Nykyisten reaktoreiden monoliittinen paineastia on siinä mielessä ongelmallinen, että maailmassa on vain muutama valimo, joissa niitä kyetään valmistamaan.

Myös massiivisen metalliastian kuljetus valimolta voimalaitostyömaalle on haastavaa ja kallista, samoin paineastian nosto paikoilleen reaktorirakennukseen.

Sulon paineastiakonseptissa yksittäisten paineastioiden materiaalipaksuus on 50 mm luokkaa. Astia kestää kevytvesireaktoreiden korkeata painetta, kun joka astian välissä säädetään paine-ero 25 barin paikkeille. Sisin materiaalikerros voidaan tehdä ruostumattomasta teräksestä ja muut levyteräksestä. Innovaation oleellinen seikka on nimenomaan se, että paineastian kerrokset tehdään muotoon valsatusta levyteräksestä, ei valamalla.

KUSTANNUSETUA JA TURVALLISUUTTA

Sulon tekemien kustannusarvioiden mukaan monikerroksisen paineastian kokonaiskustannus, joka kattaa sekä valmistuksen että kuljetuksen ja asennuksen, on vähintään kertaluokkaa pienempi nykyisiin paineestioihin verrattuna. Se myös mahdollistaisi paineastian valmistamisen kaikilla terästehtailla, myös Suomessa, joten tarjonnan lisääntyminen voisi tarjota lisää kustannusetua.

Nykyisiä paineestioita ohuempien rakenteiden ansiosta yhteiden teko olisi yksinkertaisempaa. Läpiviennit voidaan hoi-

taa laipoilla. Kun kerrosten väliin jätetään 50 mm rako, niin hitsisaumojen röntgenkuvaus on mahdollista.

Normaalikäytön lisäksi konseptissa on pohdittu myös erilaisia poikkeustilanteita. Tarvittaessa voidaan esimerkiksi syöttää vettä paineastian kerrosten väliin ja tasoittaa painetta niiden välillä.

Sulo kannattaa vahvasti laitoksen rakentamista kallion sisään, koska se tuo lisäturvallisuutta ja säästää rakennuskustannuksia. Nykyään puhutaan pienreaktoreiden rakentamisesta kalliuluoliin, mutta sama ajatus soveltuu täyskokoiselle eli luokkaa 1000 MW sähkötehon reaktorille, jollaiselle monikerrospaineastia on suunniteltu.

Monikerrospaineastia sopisi erityisesti alussa mainitulle SCWR-reaktorityypille. Tällöin riittäisi, että sisimmäisen paineastian materiaali kestää ylikriittistä vettä ja muut kerrokset voidaan valmistaa normaalista levyteräksestä. Sisin paineastia voi olla myös melko ohut, jos kahden sisimmän paineastian välissä pidetään yllä samaa painetta kuin reaktoripiirissä.

INNOVAATIOSTA TUOTTEEKSI?

Sulo on ollut vuosien varrella yhteydessä esimerkiksi Tornion terästehtaaseen, joka osoitti alustavaa kiinnostusta ja valmiutta. Haastattelijana totesin, että FinNuclear-

yhdistyksen kautta, johon kuuluu kymmeniä suomalaisia yrityksiä, voisi hyvinkin löytyä toteuttajaorganisaatio Sulon konseptille. Koelaitoksen voisi tehdä sähkölämmitteisenä pilottilaitoksena, kuten Steady Energy ja Helen toukokuussa uutisoivat LDR-50-pienreaktorin osalta.

Sulo on patentoinut monikerrospaineastian. Patentoinnin yhteydessä siitä on saatu myös VTT:n lausunto, jossa konsepti todetaan toimivaksi. Jos joku suomalainen yritys tai konsortio lähtee toteuttamaan innovaatiota käytännössä, Sulo lupasi siirtää patentin yritykselle sen hankkimiskustannuksia vastaan, siis nollavoitolla. Yhteystiedot saa kirjoittajalta.

Mitäpä uusia ideoita eläkeläisinnovaattorilta löytyy? Ideoita on paljon, mutta turbogeneraattorin korvaaminen mäntämoottoriperiaatteella toimivalla lineaarigeneraattorilla tarjoaisi Sulon mukaan paljon etuja. Tästä konseptista hänellä ei ole vielä patenttia, joten innovaatio on vielä työstövaiheessa. 



Innovaattori Sulo Luomala Mäkelänrinteen uimahallin kahviossa. Sulon tavaramerkki on Innsbruckin vuoden 1976 olympialaisista hankittu tirolilaishattu.

Diplomityö

PÄÄSTÖNOPEUDEN MÄÄRITTÄMINEN YMPÄRISTÖN SÄTEILYMITTAUSTEN ANNOS- NOPEUSNÄYTTÄMÄN AVULLA VALMIUSTILANTEESSA

Sanni Tyni
Fortum

Loviisan ydinvoimalaitoksen ympäristössä sijaitsevilla jatkuvatoimisilla säteilyn annosnopeusmittauksilla eli YSMI-mittauksilla varaudutaan havaitsemaan ympäristöön vapautunut radioaktiivinen päästö reaktorionnettomuuden tapauksessa. Monte Carlo -menetelmään pohjautuvalla säteilyn kulkeutumislaskennalla määritettiin YSMI-mittausten havaitsemat säteilyn annosnopeudet ympäristössä päästön vapautuessa ympäristöön. Näiden laskentatulosten pohjalta määritettiin menetelmä radioaktiivisen päästön päästönopeuden arvioimiseksi valmiustilanteessa. Laskentamenetelmässä otettiin huomioon erilaiset sääolosuhteet sekä radioaktiivisen päästön eri vapautumiskorkeudet Loviisan voimalaitoksen tapauksessa. Menetelmä on tarkoitettu tilanteeseen, jossa päästönopeuden määrittämiseen tarkoitetut laitoksen sisäiset aktiivisuusmittaukset eivät ole toiminnassa.

Continuous radiation dose rate measurements (YSMI) in the Loviisa Nuclear Power Plant area are prepared to detect radioactive emissions released to the environment. Using Monte Carlo-based radiation transport calculations, radiation dose rates measured by YSMI-detectors in the environment were calculated in the event of a severe reactor accident. A method determining the radioactive emission release rate in an emergency situation was established based on the Monte Carlo-calculation results. The calculations took into account various weather conditions and different release heights of radioactive emissions in the case of the Loviisa power plant. The method is intended for use in a situation where in-plant activity measurements for determining the emission rate are not operational.

Säteilytasoja Loviisan voimalaitoksen ympäristössä seurataan muun muassa jatkuvatoimisten säteilyn annosnopeusmittausten avulla. Ympäristön säteilymittausjärjestelmä (YSMI) mittaa jatkuvasti gammasäteilyn annosnopeutta voimalaitosalueella sekä 2 km ja 5 km etäisyyksillä Loviisan voimalaitokselta. Mittausten tehtävänä on havaita radioaktiivisesta päästöstä johtuva tausta-annosnopeuden muutos ympäristössä vakavan reaktorionnettomuuden tapauksessa.

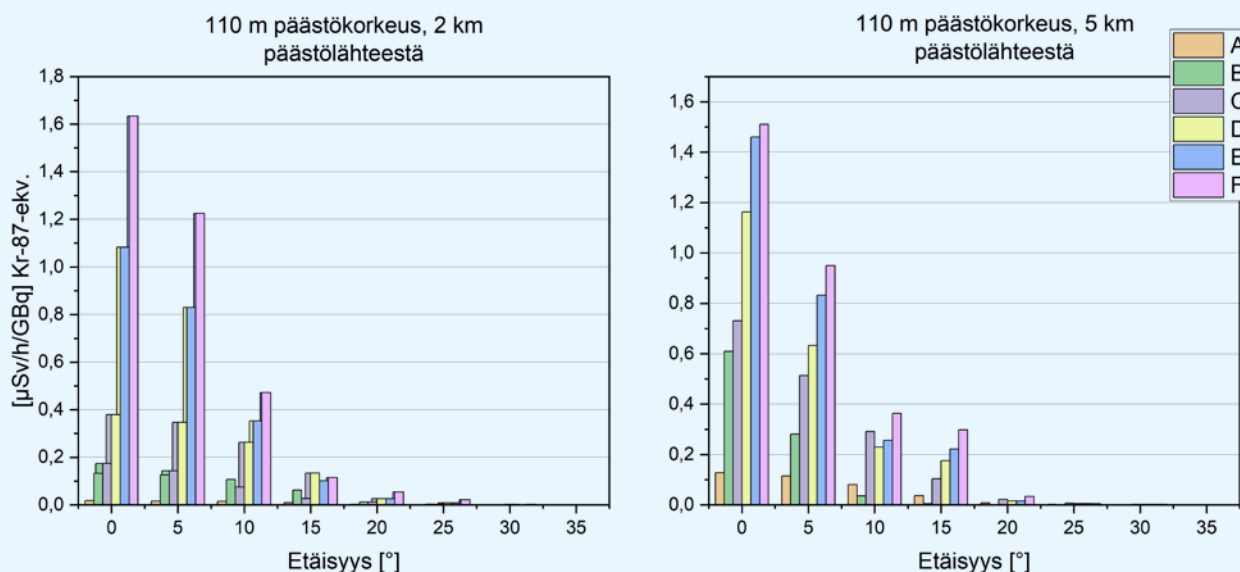
YSMI-mittaus havaitsee päästöpilvestä emittoituvan gammasäteilyn pilven kulkeutuessa mittapisteen yli. YSMI-mittausten annosnopeusnäyttämän avulla voidaan arvioida voimalaitokselta vapautuvan päästön päästönopeutta [Bq/s], kun tiedetään päästön nuklidikoostumus ja vallitsevat sääolosuhteet. Nuklidikoostumuksen avulla voidaan laskea kunkin nuklidin gammasäteilyn vaikutus mittaukseen, ja sääolosuhteiden tiedot tarvitaan, jotta päästöpilven kulkeutumista ilmakehässä voidaan ennustaa.

Työn teoriaosuudessa keskityttiin päästöpilven säteilyn fysikaalisiin ilmiöihin ja niiden havainnointiin, sekä onnettomuustilanteessa vallitsevan säätötilan vaikutukseen päästöpilven ominaisuuksiin ja siten päästön havaitsemiseen. Monte Carlo-laskennalla määritettiin annosnopeusnäyttämät 2 km ja 5 km kehällä voimalaitokselta YSMI-mittausten koordinaateissa. Annosnopeusnäyttämien avulla voidaan laskea onnettomuustilanteessa vapautuvan päästön päästönopeus, kun tunnetaan päästön nuklidikoostumus.

MONTE CARLO -MENETELMÄ SÄTEILYN KULKEUTUMISEN MALLINTAMISESSA

Työssä käytetty Monte Carlo N-particle (MCNP) -ohjelmisto seuraa yksittäisten fotonien kulkeutumista laskentageometrias- ja niiden aiheuttamaa fotonivuota tiettyissä pisteissä. Laskentaa varten luotiin laskentageometriat vastaamaan kolmea eri olosuhdetta: kulkeutumista maan pinnalla ilman metsää, kulkeutumista mäntymetsän läpi ja kulkeutumista merellä. Laskennat toteutettiin 20 m ja 110 m päästökorkeuksilla sään stabiiliusluokissa A-F.

Laskennan lähdeterminksi, kuvataan päästöpilven konsentraatiota eri pisteissä, käytettiin Gaussin mallin mukaista lähdeterminä eri stabiiliusluokille. Stabiiliusluokista A kuvaa kaikkein epästabiilinta olosuhdetta, jossa sekoittuminen on voimakasta, johtaen päästöpilven



Kuva 1. Annosnopeudet Krypton 87-ekvivalenttina stabiiliusluokissa A-F 110 m päästökorkeudella 2 km ja 5 km etäisyydellä päästölähteestä.

jakautumiseen laajalle alalle. F-luokka puolestaan kuvaa erittäin stabiilia olosuhdetta, jossa päästöpilven pystysuuntainen leviäminen on huomattavan pientä.

Laskenta toteutettiin energiavastelaskentana MCNP:llä käyttäen 14 gammaenergiaa, jotta eri energian omaavien nuklidien annosnopeusvaikutus saatiin eriteltä. Tulosten käsittelyvaiheessa otettiin huomioon päästön koostumuksen mukaisen nuklidien emittoimat gammaenergiat, joiden annosnopeusvaikutus saatiin interpoloimalla MCNP:n energiavastelaskennan tuloksista.

MCNP-laskentaan sisällytettiin säteilyn annosmuuntokertoimet ICRP 116:n mukaan siten, että saadut annosnopeustulokset vastasivat ihmisen läpi kulkevaa säteilyä [1, s. 126]. Annosnopeuslaskennassa otettiin huomioon ympäristön säteilymittauslaitteen havaitsemisvaste, sillä mittaus havaitsee verrattain heikosti matalaenergistä (40–200 keV) gammasäteilyä ja toisaalta aiheuttaa todellisuutta suuremman havaitsemisvasteen yli 1 MeV fotoneilla.

LASKENNAN TULOKSET

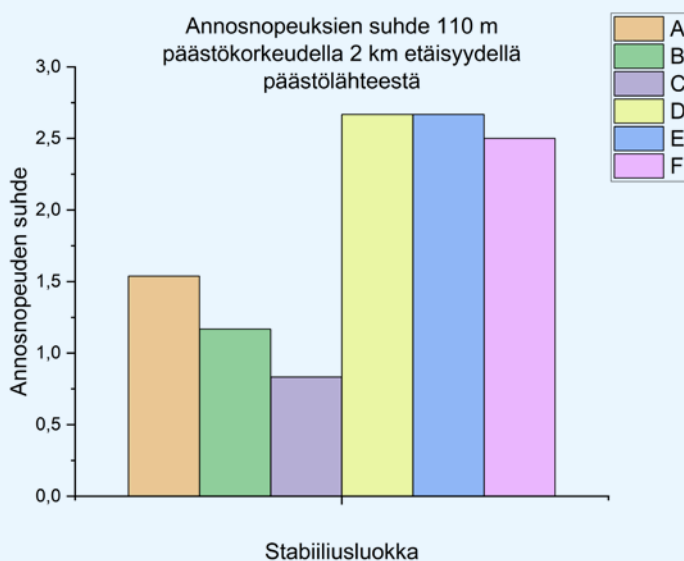
Tässä työssä laskettuja annosnopeusarvoja käytetään referenssinä todellisessa päästötilanteessa valitsemalla päästön leviämissuunnasta käytettäväksi sopiva mittapiste. YSMI-mittapisteen osalta luetaan MCNP-laskennalla määritetty annosnopeusarvo sekä mittauksen todellinen annosnopeusnäyttämä vallitsevassa tilanteessa. Yksinkertaisella yhtälön sijoittamisella saadaan selville päästönnope-

us Kr-87-ekvivalenttina, kun verrataan laskennallista ekvivalenttiannosnopeutta ja todellista annosnopeusnäyttämää toisiinsa, ja otetaan tuulen nopeus huomioon. Kun Kr-87-ekvivalenttipäästönnopeus on määritetty, päästään päästön todellisen nuklidikoostumuksen kautta käsiksi todelliseen nuklidikohtaiseen päästönnopeuteen, jolloin voidaan arvioida ympäristöön vapautuvan päästön kokonaismäärää ja valmius-tilanteessa tarvittavia toimia.

Kuvassa 1 on esitetty MCNP-laskennan annosnopeustulokset Kr-87-ekviva-

lennä YSMI-mittauksen koordinaateissa 110 m päästökorkeuden tapauksessa. Annosnopeus esitetään ekvivalentin avulla, jotta tulosten skaalaus todellisen päästön eri nuklidi- ja aktiivisuuspitousskoostumuksiin onnistuu ekvivalenttikertoimien avulla. Käytännössä laskennan päästö siis kuvaa 1 GBq suuruisen Kr-87-ekvivalenttinuklidin päästöä, eikä sellaisenaan ole tuloksena käyttökelpoinen.

Kuvassa 1 on esitetty rinnakkain 2 km ja 5 km etäisyyksille ekvivalenttiannosnopeudet, joista molemmissa annosnopeu-



Kuva 2. Vuoden 2024 annosnopeustulosten suhde vuonna 1994 laskettuihin aiempiin tuloksiin stabiiliusluokissa A-F.

det ovat suurimpia stabiileissa olosuhteissa luokissa F ja E ja lähellä päästöpilven keskipistettä. Pienimmät annosnopeudet ovat päästöpilven reunalla hyvin epästabiileissa sääolosuhteissa, jolloin päästö Gaussin jakauman mukaisesti leviää laajemmalle alalle etäisyyden kasvaessa. Kun etäisyys päästön keskipisteestä kasvaa, myös päästöpilven aktiivisuuskonsentraatio pienenee ja annosnopeudet ovat matalampia niillä YSML-mittauksilla, jotka sijaitsevat ympärillä kauempana päästöpilven keskilinjasta.

Annosnopeudet ovat korkeampia 2 km etäisyydellä kuin 5 km etäisyydellä päästölähteestä. Laskentageometria, johon oli sijoitettu metsää, aiheutti pienemmät annosnopeustulokset mittapisteissä verrattuna metsättömään tapaukseen. Puiden huomattiin päästävän etenkin matalaenergisiä fotoneja huomattavasti metsän läpi, jolloin YSML-mittauksen havaitsema säteilyannosnopeus oli joitakin prosentteja pienempi. Laskennan virhemarginaa-

li huomioiden metsän vaikutus tuloksiin ei kuitenkaan ollut merkittävä.

Laskennan tuloksia verrattiin kuvan 2 mukaisesti vuonna 1994 Fortumilla laskettuihin annosnopeustuloksiin samoissa YSML-mittauksien laskentapisteissä, ja uusien tulosten suhde vaihteli välillä 0,7 ja 2,7. Stabiileissa olosuhteissa vanhat tulokset olivat noin 2,5-kertaisia verrattuna uusiin tuloksiin. Tulosten yksityiskohtainen vertailu ei kuitenkaan tämän työn tapauksessa ole tarkoituksenmukaista, sillä laskenta sekä tulosten jatkokäsittely on toteutettu erilaisilla menetelmillä.

Tämän työn tulostenkäsittelyssä on otettu huomioon YSML-mittauksen todellinen havaitsemisvaste, sekä radioaktiivisen hajoamisen vaikutus annosnopeustuloksiin, joita ei aiemmin ole huomioitu. Lyhyen puoliintumisaajan omaavien nuklidien radioaktiivinen hajoaminen otettiin tämän työn tuloksissa huomioon sovitteella, joka huomioi mittapisteelle kulkeutumisen aikana tapahtuvan radioaktiivisen hajoamisen

määrän. Radioaktiivisen hajoamisen huomiointi tulosten käsittelyssä johti merkittäviin eroihin lopullisen päästönnopeuden arvioinnissa silloin, kun esimerkkipäästössä oli runsaasti lyhytikäisiä nuklideja kuten jalokaasuja.

Laskentaa voisi kehittää eteenpäin tarkemmalla laskentamallilla, mutta valmiustoiminnan tarpeita ajatellen tärkeämpää olisi kehittää päästönnopeuden laskentaprosessia sujuvammaksi. Nykyinen menetelmä on tarkkuudeltaan riittävä valmiustoiminnan tarkoitukseen, mutta vaiheineen melko hidas ja työläs. Päästönnopeuden laskentamenetelmästä voisi jatkossa luoda ohjelman, johon lähtötiedot täyttämällä päästönnopeuden karkean arvion saisi muodostettua nopeammin.

Diplomityö on hyväksytty Lappeenranta-Lahden teknillisessä yliopistossa LUTissa 12.12.2024.

LÄHTEET:

- [1] Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. ICRP Publication 116, Ann. ICRP 40(2-5).

KIRJOITTAJA



DI Sanni Tyni
Radiation Safety Specialist
Fortum
sanni.tyni@fortum.com

Diplomityö

LUVANHALTIJAN TURVALLISUUDEN ARVIOINTI MUUTTUVASSA SÄÄNNÖSTÖYMPÄRISTÖSSÄ

Sonja Töyrylä
Teollisuuden Voima Oyj

Diplomityössä analysoitiin OL1-, OL2- ja OL3-laitosyksiköiden kokonaisturvallisuutta kokonaisturvallisuuden arvioinnin mallin (ORSAC, Overall Safety Conceptual Framework) avulla. Lisäksi työssä tarkasteltiin eri skenaarioita määräaikaisten turvallisuusarvioinneille ja pyrittiin tunnistamaan, miten säännöstöuudistus tulee mahdollisesti muuttamaan luvanhaltijan valvontaa.

In this thesis, the overall safety of OL1, OL2 and OL3 nuclear power plant units were analysed using the ORSAC (Overall Safety Conceptual Framework) model. As the regulatory environment changes, the goal was to create different scenarios for periodic safety reviews and to identify how the regulatory framework will potentially change the license holder's supervision.

Käynnissä olevan ydinenergialain ja ydinturvallisuussäännösten kokonaisuudistuksen ajankohta toimi herättäenä diplomityön tekemiselle. TVO:n kannalta muutoksen ajankohta asettaa haasteita, sillä käyttöluupien ehtojen mukaisesti TVO:n tulee toimittaa OL1-, OL2- ja OL3-laitosyksiköiden määräaikaisten turvallisuusarviointit STUKille vuoden 2028 loppuun mennessä. Säännöstöuudistuksen suunniteltu täytäntöönpano on vuoden 2028 alussa. Uudistuva säännöstö tulee korostamaan luvanhaltijan vastuuta. Muutoksessa olennaista on, että turvallisuuden taso ei heikkene missään tilanteessa ja turvallisuus pidetään etusijalla.

KOKONAISTURVALLISUUDEN ARVIOINNIN MALLI ORSAC

Työssä käytetty kokonaisturvallisuuden arvioinnin malli ORSAC perustuu IAEA:n toi-

minnalliseen syvyysuuntaiseen puolustusperiaatteeseen, jonka pohjalta malli on esitetty [1]. Kokonaisturvallisuuden arvioinnin mallilla kuvataan eri turvallisuusjärjestelmien sijoittumista syvyyspuolustuksen eri tasoille. Turvallisuusjärjestelmiä sijoitetaan kolmelle pääturvallisuusperiaatteelle, joita ovat kriittisyyden hallinta, lämmönpoisto sekä radioaktiivisten aineiden eristäminen ympäristöstä. Lisäksi mallissa on huomioitu tärkeimmät tukijärjestelmät, joita ovat sähkönsyöttö sekä olosuhteiden hallinta ja laitejäähdytys.

Kuvassa 1 esitetään malli, jota työssä käytettiin OL1-, OL2- ja OL3-laitosyksiköiden analysoimiseen. Turvallisuus- ja tukijärjestelmien lisäksi automaatiojärjestelmät analysoitiin yksinkertaistetusti syvyyspuolustuksen eri tasoilla. Työssä mallit analysoitiin OL1- ja OL2-laitosyksiköistä sekä OL3-laitosyksiköstä.

Kokonaisturvallisuuden arvioinnin mallien perusteella OL1- ja OL2- sekä

OL3-laitosyksiköiden kokonaisturvallisuus on hyvin diversifioitunut. Pääturvallisuusperiaatteille on useampi järjestelmä, joka pystyy tuottamaan vaaditun toimenpiteen. Useiden järjestelmien oletetaan toimivan sekä käyttötilassa että onnettomuustilanteessa ja moni järjestelmä on kreditoitu toimimaan eri pääturvallisuusperiaatteilla. Täten työssä huomattiin, että syvyyspuolustuksen linjat eivät ole toisistaan riippumattomia.

Mallille pohdittiin useita hyödyntämismahdollisuuksia. Mallin parhaat hyödyntämismahdollisuudet löytyivät sen visuaalisuuden kautta. Visuaalinen esitys turvallisuusjärjestelmien sijoittumisesta eri syvyyspuolustuksen tasoille antaa mallin käyttäjälle yksinkertaistetun kuvan siitä, millä syvyyspuolustuksen tasolla ja minkä pääturvallisuusperiaatteen alla järjestelmän oletetaan toimivan. Mallista olisi hyötyä erityisesti käyttölinjan päätöksentekoprosessissa, sillä mallin avulla olisi mahdollista luoda selkeä kuva osallistujille käsiteltävän asian vaikutuksesta ydinturvallisuuteen.

Mallia tarkasteltaessa tunnistettiin myös sen heikkouksia. Malli esitetään yleistasolla eikä se ylety komponenttitasolle asti. Mallissa ei näy useiden järjestelmien jakautuminen neljään erilliseen osajärjestelmään, jolloin yhteen järjestelmän osaan tuleva vika ei tee käyttökunnottomaksi koko järjestelmää. Lisäksi turvallisuusjärjestelmien tukitoiminnot eivät näy kokonaisturvallisuuden arvioinnin mallissa täydessä laajuudessaan. Toisaalta mallin tarkoituksena ei ole olla yksityiskohtainen esitys, vaan se on hyödyllinen työkalu kokonaiskuvan muodostamisessa.

MÄÄRÄAIKAISTEN TURVALLISUUSARVIOINTIEN SKENAARIOT

Ydinenergialain (990/1987) 7 e §:n mukaan ydinlaitosten turvallisuus on arvioitava vähintään 10 vuoden välein. Työssä pohdittiin määräaikaisten turvallisuusarviointien toteuttamiseen kolmea eri skenaariota, jotka pohjautuvat TVO:n vaihtoehtoihin, joita tarkasteltiin OL1- ja OL2-laitosyksiköiden käyttöä jatkoon ja lämpötehon korottamisen edellyttämässä ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä. Skenaarioiden vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat arvioitiin muuttuvan säännöstöympäristön kannalta.

Diplomityössä todettiin, että parhaat vaihtoehdot määräaikaisten turvallisuusarviointien toteuttamiseen muuttuvassa säännöstöympäristössä olisivat skenaariot

riot, joissa laitosyksiköiden määräaikaisturvallisuusarvioinnit toimitettaisiin vuoden 2028 loppuun mennessä. Kuvassa 2 esitetään skenaario, jossa laitosyksiköille tehdään ainoastaan määräaikaisturvallisuusarvioinnit. Skenaariossa uudet STUKin määräykset saataisiin arvioitua määräaikaisten turvallisuusarviointien yhteydessä sen sijaan, että arvioitaisiin uusia ja nykyisiä vaatimuksia. Lisäksi arvioinneissa saataisiin hyödynnettyä hyvin synergiaa kaikkien kolmen laitosyksikön välillä.

TUNNISTETTUJA MUUTOKSIA LUVANHALTIJAN VALVONTAAN

Ydinturvallisuussäännösten uudistuksen tavoitteena on korostaa toiminnanharjoittajan vastuuta, mitoittaa vaatimukset turvallisuusmerkityksen suhteen oikein ja kohdentaa valvontaa tehokkaasti riskimerkitys huomioiden. Säännösten ja valvonnan muuttuessa on mahdollista muuttaa vaatimustenmukaisuutta. Tulevaisuudessa turvallisuuden takaaminen ei tarkoita enää pelkästään vaatimusten noudattamista vaan tulee ymmärtää, mitä vaatimuksilla tavoitellaan. Turvallisuuden eteen tulee toimia sekä tarkoituksenmukaisesti että vaatimustenmukaisesti.

Diplomityössä käytiin läpi kaksi esimerkkiä valvonnan muutoksesta. Ensimmäinen

esimerkki käsitteli henkilöstöä koskevia muutoksia ja toinen käyttökokemuksia. Henkilöstön osalta havaittiin, että henkilönimeämisten hyväksyttäminen STUKilla jätettäisiin pois ydinenergialaista. Tällä hetkellä STUKin tulee hyväksyä luvanhaltijan nimittämät valmiusjärjestelyistä, turvajärjestelyistä ja ydinmateriaalivalvonnasta vastuulliset henkilöt ja heidän varahenkilönsä. Uudistuksen jälkeen tehtäviin nimittetyt henkilöt lähetettäisiin tiedoksi STUKille hyväksyttämisen sijaan. Lakiin on tarkoitus jättää ydinlaitoksen ohjaajan, joka työskentelee valvomossa, sekä turvajärjestelyiden vastuuhenkilön nimeämiset. Henkilöiden hyväksyttämättä jättäminen on osoitus tavoiteltavasta valvonnan suunnasta, jossa luvanhaltija on enemmän vastuussa omasta turvallisuudestaan.

Käyttökokemustoiminnassa tulee tapahtumaan valvonnan muutosta uudistuvan säännösten myötä. Osaltaan käyttökokemustoiminnassa on jo tapahtunut muutosta annetun poikkeaman myötä. Esimerkiksi YVL-ohjeen A.10 vaatimusten A01-A07 mukaisia raportteja ei tarvitse enää toimittaa STUKille hyväksyttäväksi, vaan jatkossa raportit toimitetaan STUKille tiedoksi. Lisäksi ohjeen YVL A.10 vaatimusta 707 ja liitteen A A01-A08 vaatimuksia luvanhaltijan ei tarvitsisi noudattaa päättäessään, mitä ydin- ja säteilyturvallisuuteen liittyviä tapahtumia selvitetään

tutkinnoissa ja mitä tutkintojen tuloksia toimitetaan STUKille. Diplomityön liitteessä A on joitain esimerkkejä säteily- ja ydinturvallisuuteen liittyvistä tapahtumista, joista käyttötapaturmaraportti tulee tehdä.

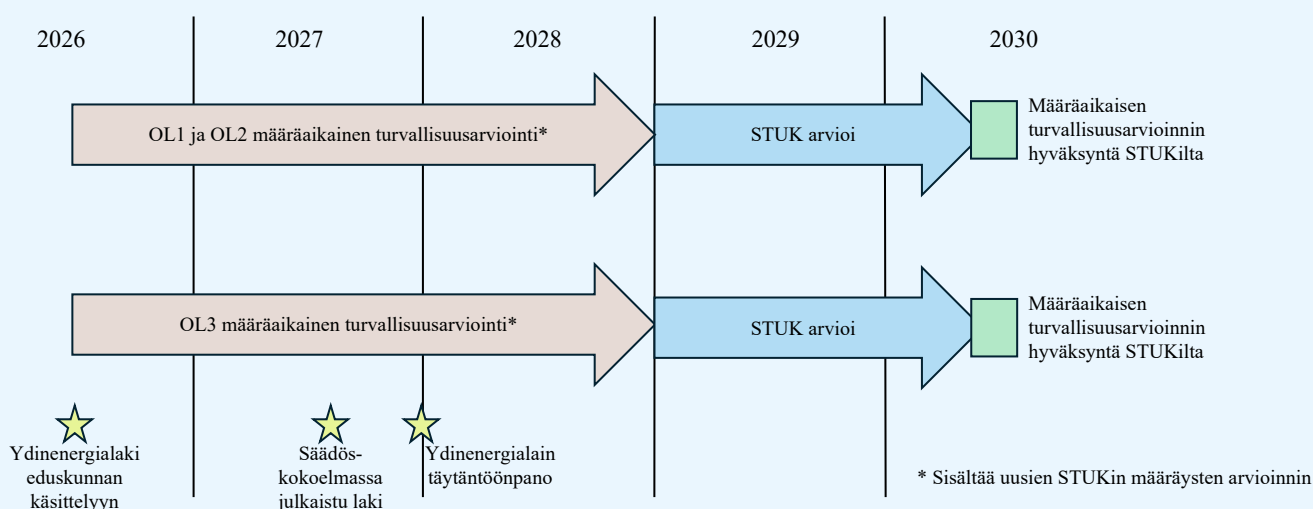
Toteutetulla muutoksella STUK tavoittelee luvanhaltijoille annettavan lisää vapautta tapahtumatutkintojen kohdentamiseen. Tarkoituksena ei ole muuttaa edellä mainittujen vaatimusten tavoitteita vaan ainoastaan niiden yksityiskohtaisuutta. Odotukset tapahtumien tutkimiseen muutoksen myötä eivät vähene. Vähentämällä viranomaisvaatimuksista tulevaa sanelua annetaan luvanhaltijoille enemmän vapautta, jotta he voivat itse miettiä mitä, miksi ja miten tapahtumat tulee selvittää ja tutkia turvallisuuden parantamiseksi. STUKin arvion mukaan muutos tulee parantamaan tutkintojen vaikuttavuutta.

Myöntämällä käyttökokemustoimintaan poikkeaman jo ennen ydinturvallisuussäännösten kokonaisuudistusta STUK sekä luvanhaltijat saavat kokemusta tulevasta muutoksesta. Myönnetty poikkeama on siis osoitus kokonaisuudistuksella tavoiteltavasta valvonnan muutoksesta, jossa halutaan korostaa enemmän luvanhaltijan vastuuta.

Työssä pohdittiin poikkeaman vaikutuksia organisaation toimintaan. Asian tuntijatasolla poikkeaman vaikutukset nähtiin pieninä heikennyksinä organisaat

	Käyttötila		Onnettomuustilanne		
	Normaalikäyttö	Odotettavissa oleva käyttöhäiriö	Oletettu onnettomuus	Oletettujen onnettomuuksien laajennukset	
				Ilman merkittävää polttoaineauriota	Vakava reaktorionnettomuus
Kriittisyyden hallinta / Sammutus	Järjestelmä 1		Järjestelmä 2		N/A
Reaktorin jäähdytys	Käytönaikaiset järjestelmät		Onnettomuusjärjestelmät		"SAM"
Lämmönpoisto lopulliseen lämpönieluun	Käytönaikaiset järjestelmät		Onnettomuusjärjestelmät		"SAM"
Fissiotuotteiden pidättäminen (Reaktorijärjestelmät)	Suljetut järjestelmät		Ensisijainen suojarakenne		
Suojarakennus (Järjestelmät ja rakenteet)	Suljetut järjestelmät		Ensisijainen suojarakenne		
Sähkönsyöttö	Sähköverkkoyhteydet		EDG:t	"DEC" dieselgeneraattorit	
Olosuhteiden hallinta ja laitejäähdytys (HVAC)					

Kuva 1. Käytetyssä mallissa pääturvallisuusperiaatteista lämmönpoisto ja radioaktiivisten aineiden eristäminen ympäristöstä eriteltiin kahteen osaan. Näin saatiin näkyviin eri järjestelmien tehtävät ja turvallisuustoiminnot yksityiskohtaisemmin.



Kuva 2. Kolmas työssä tarkastelluista skenaarioista, jossa uudistettu ydinenergiasäännöstö astuu voimaan arviointiprosessin aikana. Arviointeja tehdessä synergian hyödynnys olisi mahdollista, sillä kaikkien kolmen laitosesikön arvioinnit tehdään samaan aikaan.

tion suuntaan. STUKilta saatu välitön palaute toimitetuista raporteista jää pois, kun käyttötapahtumaraportit toimitetaan tiedoksi hyväksyttämisen sijaan. Täten raporteista ei enää saada esittelymuistiota ja päätöstä. Toisaalta poikkeama luo mahdollisuuksia, kun luvanhaltijat voivat kehittää yhteiset tapahtumien raportointikriteerit.

Toiseksi valvonnan muutos antaa vapaammat kädet tapahtumatutkintojen käynnistämiseen. Tutkintoja voisi olla mahdollista käynnistää matalammalla kynnyksellä ja tutkia laajoja ilmiöitä yksittäisten tapahtumien sijaan. Laajojen ilmiöiden tutkinta on vaikuttavampaa kuin yksittäisten tapahtumien tutkinta, joita tällä

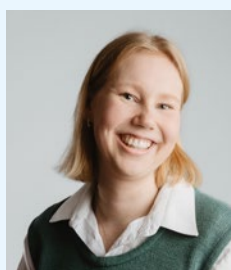
hetkellä pääasiassa tehdään vaatimusten mukaisesti.

Diplomityö on hyväksytty Lappeenranta-Lahden teknillisessä yliopistossa LUTissa 22.1.2025.

VIITTEET

- [1] Hyvärinen, Juhani, Kauppinen, Otso-Pekka ja Vihavainen, Juhani. 2016. Overall Safety Conceptual Framework - ORSAC. Revisio 1. Lappeenranta: Lappeenranta University of Technology. 81 s.

KIRJOITTAJA



DI Sonja Töyrylä

Nuorempi lisensiointi-insinööri
Teollisuuden Voima Oyj
sonja.toyryla@tvo.fi

Diplomityö

DIVERTTORIALUEELLA SIJAITSEVIEN MERKKI- NÄYTTEIDEN EROOSION ERO2.0-MALLINNUS ASDEX UPGRADELLA SUORITETUSSA L-MOODIN KOKEESSA

Samuli Saari
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Diplomityössä tutkittiin tokamak-tyyppisen fuusiolaitteen ASDEX Upgraden (AUG) ulkodiverttorille sijoitettujen kullasta valmistettujen merkinäytteiden eroosiota simulaation avulla ja vertaamalla simulaatiotuloksia vastaavasta koejärjestelystä [1] saatuihin tuloksiin. Tutkimus sisälsi simulaatioavaruuden määrittämisen, sputterointi- ja heijastusdatojen luomisen sputterointisaantoa simuloivalla SDTrimSP-koodilla sekä seinien eroosiota fuusioreaktoriympäristössä simuloivalla ERO2.0-koodilla suoritettua simulaatiota. Simulaatiot tuottivat huomattavaa yhdenmukaisuutta koetulosten kanssa. Työssä tutkittiin myös kullan sopivuutta merkinäytemateriaalina volframieroosion tutkimisessa.

In the master's thesis, the erosion of gold marker samples placed on the outer divertor of the tokamak-type fusion device ASDEX Upgrade (AUG) was studied through simulation and by comparing the simulation results to the results obtained from a corresponding experimental setup [1]. The research included defining the simulation space, generating sputtering and reflection data using the SDTrimSP code, which simulates sputtering yield, and conducting simulations with the ERO2.0 code, which simulates wall erosion in a fusion reactor environment. The simulations produced significant consistency with the experimental results. The thesis also examined the suitability of gold as a marker sample material for studying tungsten erosion.

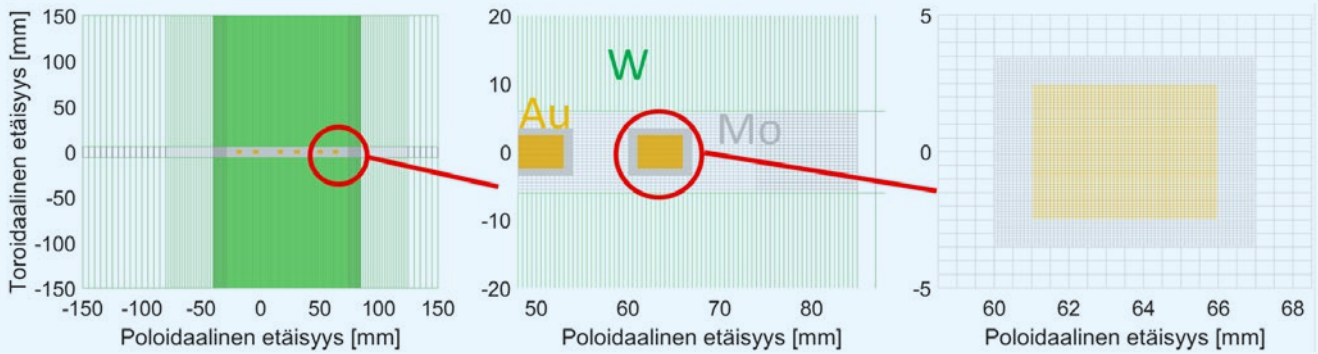
Tokamak-reaktoreiden tutkimus on edennyt jo asteelle, jossa toroidimaista reaktoria kiertävän kuuman plasman käyttäytyminen ja sielunelämä tunnetaan jo varsin hyvin. Valitettavasti samaa emme voi vielä sanoa plasman ja seinän vuorovaikutuksesta, saati siitä, mikä materiaali kestää parhaiten plasmasta pakenevien hiukkasten muassaan tuomaa lämpökuormaa.

Koska mikään tässä maailmassa ei voi olla täydellistä, sitä ei ole myöskään plasman magneettinen koossapito, jolloin sisäseinä plasman ympärillä joutuu aina jossain määrin plasmasta karkaavien hiukkasten pommituksen kohteeksi. Divertoreilla varustetussa tokamakissa kuten AUG:ssa karkaavat hiukkaset ohjataan koossapitävän magneettikentän vuoviivoja pitkin erillisille diverttorilevyille, joissa ne voivat irrottaa materiaalista hiukkasia sputteroinnin kautta, eli käynnistämällä kiderakenteissa törmäyskaskadin, jonka seurauksena kiinteästä materiaalista irtaantuu atomeita. Sen lisäksi että tämä kuluttaa seinämateriaalia, saattavat sputteroituneet raskaat atomit kulkeutua pääosin vedyn isotoopeista koostuvaan plasmaan ja huonontaa sen suorituskkyä.

KOEDATA JA SIMULAATIOIDEN PARAMETRISOINTI

Eroosiota on tutkittu jo vuosien ajan erilaisissa koelaitteissa, kuten AUG. Yksi keskeinen tutkimuskohde on ollut brutto- ja nettoeroosion tasapaino erilaisissa plasmoissa. Näillä on merkitystä, koska vaikka seinämateriaalista voi irrota paljon hiukkasia (bruttoeroosio), näyttää siltä, että seinärakenteiden pinnasta ei kuitenkaan katoa merkittävästi materiaalia sen kertyessä takaisin erodoituneelle pinnalle (nettoeroosio). Onkin siis pohdittu, millaisilla koejärjestelyillä brutto- ja nettoeroosio voitaisiin määrittää mahdollisimman tarkasti.

Kokeessa, jonka tuloksiin simulaatiotuloksia verrattiin, kahta erikokoista kultaista merkinäytettä eli markkeria altistettiin L-moodin plasmalle AUG:n ulkodiverttorilla niin sanotun strike pointin ympäristössä. Strike point on se diverttorin kohta, johon kohdistuu kaikkein suurin hiukkas- ja lämpökuorma. Kulta valittiin markkerimateriaaliksi, sillä sen massa on lähellä volframia, mutta se voidaan kuitenkin erottaa kokeellisilla pinta-analyysimenetelmillä AUG:n volframisesta diverttorilevystä. Kokeessa suurempien markkerien oli tarkoitus tuottaa tietoa nettoeroosiosta ja pienempien bruttoeroosiosta.



Kuva 1. Simulaatioavaruuden 2-ulotteinen seinäpinta. OSP kuvaa strike pointin paikkaa simulaatiossa. Kultaista markkerit (keltainen) on sijoitettu pinnan keskellä olevalle molybdeeniraidalle (harmaa). Muu simulaatiopinta koostuu volframista (vihreä). Yksittäisen simulaatioalueen koko on pienempi kultaisilla markkereilla ja niiden ympäristössä, mikä lisää simulaation tarkkuutta näillä alueilla.

Kuten kokeessa niin myös simulaatiossa seinämä koostui edellä mainituista markkereista ja molybdeenialustasta, jolle markkerit oli sijoitettu. Loppuseinän materiaali oli volframi. Simulaatioissa seinäpinta oli jaettu erikokoisiin soluihin siten, että markkereiden eroosion kannalta oleelliset alueet (markkerit ja niiden välitön ympäristö) oli jaettu kaikkein pienimpiin soluihin, jolloin simulaation tarkkuutta saatiin lisättyä näillä alueilla. Kauempana simulaatiosolujen kokoa kasvatettiin asteittain säästämällä näin simulaatioaikaa. Tarkempi simulaatiopinnan geometria on esitelty kuvassa 1, jossa punainen ympyrä osoittaa tarkennettua rakennetta.

Lähes kaikki simuloinnissa käytetty sputterointi- ja heijastusdata oli saatavilla tietokannoissa, mutta kullan ja muiden simulaatiossa käytettyjen aineiden välillä nämä piti luoda erikseen. Luultavasti ku-

kaan ei ole aiemmin innostunut kultaseinäisestä tokamakista. Sputterointidata kullalle oli aiemmin tuotettu niin sanotun Bohdanskyn kaavan avulla, joka kuvaa sputterointisaantoa kahden materiaalin välillä, kun törmäävä hiukkanen osuu koh-tisuoraan kohteeseen.

Tätä työtä varten uusi data tuotettiin käyttäen SDTrimSP-koodia. Se on Monte Carlo -koodi, joka simuloi binäärisiä törmäyksiä hiukkasten välillä kiinteässä aineessa. Bohdanskysta poiketen SDTrimSP mahdollistaa myös tarkan laskennan eri törmäyskulmilla hiukkasen ja kiinteän materiaalin välillä.

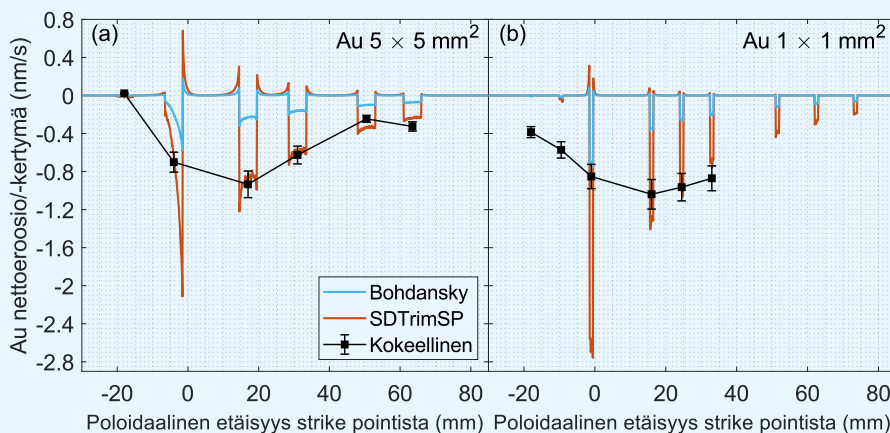
Varsinainen eroosiomallinnus tehtiin ERO2.0-koodilla, joka SDTrimSP:n tapaan on myös Monte Carlo -koodi. Yksi ERO2.0-koodin tärkeimpiä parametreja on taustaplasma: simulaatiotilavuudessa vaikuttava hiukkasvuo, jonka koostumus, tiheys ja läm-

pötilä määritellään simulaatiokohtaisesti. Tässä työssä taustaplasman intensiteetti on määritetty olevan suurimmillaan juuri strike pointin alueella.

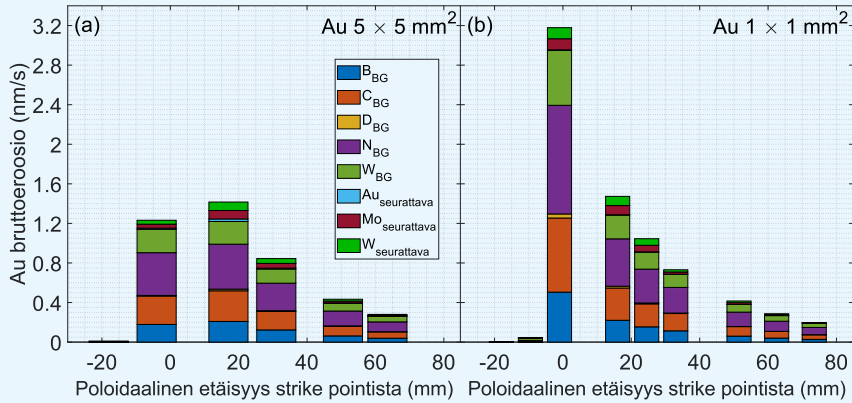
Työssä käytetyn taustaplasman koostumus on pääasiassa AUG:ssa polttoaineena käytettävää deuteriumia, mutta siihen on lisätty myös epäpuhtauksia, kuten booria, hiiltä, typpeä ja volframia. Nämä epäpuhtaudet kumpuavat fuusioreaktorin seinämämateriaaleista (C, W) ja tarkoituksellisista epäpuhtausinjektioista (B, N), jotka parantavat reaktorin toimintaa muilla tavoin. Tämän lisäksi simulaatiossa seurataan taustaplasman fysiikalle altistettuja pinnasta sputteroituneita kulta-, molybdeeni- ja volframihiukkasia. Seurattavat hiukkaset voivat palata takaisin pinnalle, heijastua pinnasta, sputteroida hiukkasia pinnasta tai kulkeutua simulaatiotilavuuden ulkopuolelle.

NETTOEROOSIOSIMULAATION VASTAAVUUS KOEDATAAN

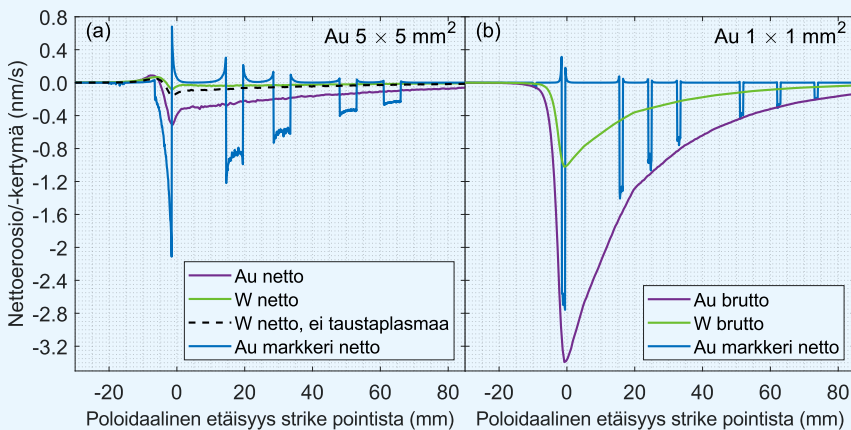
Kuvassa 2 esitellyt työn tulokset ovat huomattavan hyvin yhteneviä koetulosten kanssa verrattuna aiempiin simulaatioihin aiheen parissa. Kuvassa havaittavat kertymäpiikit eroosioalueiden reunoilla johtuvat lähtevien hiukkasten kulmajakaumasta, jossa satunnaisesti suuntaan pinnasta lähtevä kultahiukkanen, varsinkin reunoilla, voi päätyä kultamarkkerin ulkopuolelle, jolloin nettoeroosio alueella on itse asiassa nettokertymää. Varsinkin pienemmillä markkereilla strike pointilla havaittavat poikkeamat koedataan johtuvat mitä luultavimmin puutteellisista tiedoista strike pointin tarkasta sijainnista sekä lämpötila- ja tiheysdatan puutteesta tällä alueella, jolloin simulaatioissa käytettävän taustaplasman arvoja tällä alueella joudutaan interpoloimaan.



Kuva 2. Nettoeroosioikäykärit $5 \times 5 \text{ mm}^2$ markkereille (a) ja $1 \times 1 \text{ mm}^2$ markkereille (b) käyttäen Bohdanskyn kaavalla saatua sputterointidataa, sekä SDTrimSP:llä saatua sputterointi- ja heijastusdataa. Mustat neliöt esittävät kokeellisesti mitattua nettoeroosiota sisältäen arvioidun 15 % virhemarginaalin mittauksissa.



Kuva 3. Eri ionilajien vaikutus markkereiden kokonaiseroosioon isommilla $5 \times 5 \text{ mm}^2$ markkereilla (a) ja pienemmillä $1 \times 1 \text{ mm}^2$ markkereilla (b).



Kuva 4. Kokonaan kullasta ja volframista muodostettujen pintojen nettoeroosio ja niiden vertailu suurempien nettoeroosiota edustavien markkerien nettoeroosiosimulaatioihin (a). Katkoviiva edustaa kokonaan volframista koostuvan pinnan sitä nettoeroosiota, jossa taustaplasman kertyviä hiukkasia ei ole huomioitu. Kokonaan kullasta ja volframista muodostettujen pintojen bruttoeroosiokäyrä ja niiden vertailu pienempien bruttoeroosiota edustavien markkerien simuloituun nettoeroosiokäyrään (b).

Simulaatioissa huomattiin, että kullan eroosio tapahtuu pääasiassa taustaplasman kevyiden epäpuhtauksien vaikutuksesta. Toisaalta taustaplasman volframin vaikutus oli suhteellisen suuri huolimatta siitä, että volframin määrä oli vain kymmenesosa muista epäpuhtauksista. Tämä käy ilmi kuvasta 3, jossa on esitetty eri hiukkaslajien vaikutus eroosioon markkerikohtaisesti simulaatioissa. Kullan itseissputteroitumisen puute johtuu pääosin siitä, että kultapinnalle palaavat erodoituneet kultahiukkaset ovat pääasiassa matalaenergisiä hiukkasia, joiden energia pinnalle palatessa ei ylitä sitä kynnysarvoa, joka vaaditaan atomin irrottamiseen hilasta. Korkeaenergisesti kultahiukkaset päätyvät todennäköisesti kauemmas markkeripinnoista.

Seurattavissa hiukkasissa kevyempi molybdeeni tuotti myös enemmän kullan

sputteroitumista kuin raskaampi volframi, mikä johtuu luultavasti siitä, että seurattavat volframihiukkaset sputteroituvat suhteellisen kaukana markkeripinnoista, jolloin niiden kerääntyminen tapahtuu todennäköisesti muualle kuin markkeripinnoille. Taustaplasman epäpuhtaudet sen sijaan vaikuttavat spatiaalisesti kaikissa avaruuden pisteissä, luoden tasaista eroosiota jokaiselle markkerille.

KULLAN SOPIVUUS VOLFRAMIN KORVAAJAKSI KOEJÄRJESTELYSÄ

Opinnäytetyössä tarkasteltiin myös kullan sopivuutta markkerimateriaaliksi. Kuvassa 4 on esitetty simuloidut eroosiokäyrät pinnoista, jotka koostuvat kokonaan kullasta

tai volframista. Suurempien markkerien edustaessa nettoeroosiota, on niiden simuloitua nettoeroosiota verrattu kokonaan kultaista ja volframisen pinnan nettoeroosiokäyrään (a), kun taas pienempien markkerien edustaessa bruttoeroosiota, niiden simuloitua nettoeroosiokäyrää on verrattu kokonaan kultaista ja volframisen pinnan bruttoeroosiokäyrään (b).

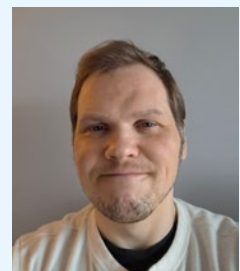
Koska nettoeroosiotapauksessa volframia kerääntyy jonkin verran myös taustaplasman kerääntymään, on kuvaajaan lisätty katkoviivalla käyrä volframin nettoeroosiosta, jossa ei ole otettu huomioon taustaplasman kerääntymää volframia. Voimme havaita, että suuremmat markkerit eivät välttämättä toimi hyvin nettoeroosiotutkimuksissa, mutta sen sijaan pienemmät markkerit, vain 20% poikkeamalla, antavat aika hyvän kuvan bruttoeroosiosta.

Diplomityö on hyväksytty Aalto-yliopiston Perustieteiden korkeakoulussa 18.11.2024.

VIITTEET

- [1] A. Hakola et al., "Gross and net erosion balance of plasma-facing materials in full-W tokamaks." Nuc. Fus. 61 (2021) 116006

KIRJOITAJA



DI Samuli Saari

Research Scientist

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
samuli.saari@vtt.fi

"LUOTA MUTTA VERIFIOI"

Asiakeskeinen Antti Vuorinen ei pelännyt epävirallisuutta



Antti Vuorinen STUKin Kalevankadun toimistolla (kuva: STUK).

Antti Pauli Uolevi Vuorinen syntyi Hämeenlinnassa 8. maaliskuuta 1932. Hän nukkui pois 27.7.2011 kesähuvilallaan Lammilla.

Opin tuntemaan Vuorisen ydinvoimaan erikoistuneena toimittajana. Kohtaamisia oli usein vuosien varrella. Niistä jäi minulle lämpimät muistot. Viimeisellä tapaamisellamme Ekbergin kahvilassa Bulevardilla Helsingissä Antti sanoi: "sinä et ole koskaan tahallasi kirjoittanut väärin." Yritän siis myös tässä ja nyt kirjoittaa mahdollisimman oikein niin kuin uskon asioiden olleen.

Kohtaamisemme alkukesästä 1980 jäi erityisesti mieleen. Olin tehnyt sivun laajuisen jutun Helsingin Sanomiin Loviisan ydinvoimalan paineastian haurastumisesta. Juttu oli otsikoitu sunnuntaitoimituksessa raflaavasti "Loviisan paineastian painajaiset". Olin tehnyt useiden viikkojen ajan töitä sen kanssa. Lopputuloksesta ei löytynyt suoranaisia virheitä.

Kaikki eivät pitäneet jutustani. Loviisan ydinvoimalan päällikkö tekniikan tohtori Anders Palmgren lähetti minulle Helsingin

Sanomista repäistyn sivun, johon hän oli kirjoittanut keskelle sanan "törkeää".

Karl-Erik Michelsenin ja Tuomo Särkikosken kirjassa "Suomalainen ydinvoimalaitos" vuodelta 2005 kerrottiin, että paineastian haurastuminen oli yritetty pitää salassa. Elettiin brezhnevilaista aikaa. Aika hyvin se kuitenkin oli julkisuudessa toukokuussa 1980, sivun laajuisessa artikkelissa. Juuri silloin haurastuminen oli todettu VTT:n tekemissä materiaalitutkimuksissa, joita varten oli sijoitettu metallinäytteitä paineastian sisälle.

Tapasin heti jutun ilmestyttyä Säteilyturvallisuuslaitoksen johtajan tekniikan tohtori Antti Vuorisen hänen työhuoneellaan Kalevankadulla. Aivan ensimmäiseksi hän sanoi: "Mennään ulos, ei täällä voi puhua." Lähdettiin Hietalahden torin itäpäässä olleeseen kahvilaan, joka tuntui olleen Vuorisen kantapaikka.

Vuorisella ei ollut huomauttamista itse jutun sisältöön. Myöhemmin löysin hänen jäämistöstään mapin, josta ilmeni, että paineastian haurastumisriskit oli tiedostettu jo vuonna 1975. Säteilyturvallisuuslaitos oli vaatinut valmistuksen valvontaa Izhoran tehtaalla pitkään. Samaan tapaan vaadittiin myös polttoaineen valmistuksen paikan päällä tehtaalla tapahtuvaa valvontaa, mutta Neuvostoliiton lakien mukaan suomalaisia ei voitu päästää tehtaalle. Imatran Voiman piti siitä syystä teettää tehdastarkastukset palkkaamallaan riippumattomilla Neuvostoliiton kansalaisilla ja varmistaa tarkastusten tulokset satunnaisesti valituista polttoainepuista, jotka rikottiin ja tarkastettiin VTT:llä.

Yksi lause jäi keskustelustamme erityisesti mieleen. "Aina kun on kyse ydinvoimasta, on kyse suurvalta politiikasta", Antti totesi. Minun piti ymmärtää, että olin isojen kansainvälisten asioiden kanssa tekemisissä.

Antti Vuorinen oli akateemikko Erkki Laurilan atomienergianeuvottelukunnan "Manhattan-projektin" kouluttamia. Laurilan projekti aloitti maaliskuussa 1958. Se kanavoiti itsenäisesti kymmenien miljoonien markkojen määrärahoja.

Kauppa- ja teollisuusministeriöön rakennettiin erillinen "atomitoimisto", jonka tehtävänä oli huolehtia atomienergian tutkimus- ja kehitystoiminnan kansainvälisistä yhteyksistä, säteilysuojelulainsäädännöstä ja atomipolttoaineen hankintaa liittyvistä luvista ja sopimuksista. Suomen ja kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n suhteet hoidettiin ministeriöstä. Tähän oppijunaan Antti Vuorinen oli päässyt jo nuorena.

Laurila ja professori Pekka Jauho olivat nähneet Geneven atomikonferenssissa vuonna 1958 General Atomic -yhtiön Triga Mark II -merkkisen reaktorin, joka sopi Suomeen kooreaktoriksi. Antti Vuorinen ja Olavi Vapaavuori lähetettiin San Diegoon tutustumaan reaktoriin. Myöhemmin Antti työskenteli useiden vuosien ajan säteilyturvatehtävissä sekä IAEA:n palveluksessa että Otaniemen reaktorilla.

Olavista puolestaan tuli Suomen ensimmäinen reaktoriturvallisuusviranomaisen ennen kuin ydinturvallisuusvalvonta annettiin säteilyfysiikan laitokselle Antin johdettavaksi. Myös Olavin opin tuntemaan henkilökohtaisesti.



Risto Valkeapää
Tietokirjailija
risto.valkeapaa@gmail.com

Petrosjants ei ollut mukana, mutta valtuuskunta oli iso ja arvovaltaisen tuntuinen.

Huoneen etuosaan saapui laitoksen päällikkö Anders Palmgren, joka rupesi kritisoimaan laitoksen tekniikkaa. Muistan, että minulla oli ruutupaperilehtiö ja punainen kuivamustekynä. Palmgren esitti kahdeksan kohdan listan laitoksen puutteista, jossa ensimmäisenä arvostelukohteena oli epätietoisuus polttoaineesta.

Suomalainen turvallisuusviranomainen oli asettanut kahdeksan prosentin tehonrajoituksen, mikä kävi kalliiksi. Kirjoitin puhetta ylös ”kynä savuten”. Kun Palmgren oli saanut sanottavansa sanotuksi, hän huomasi minut ja Einiön takapenkissä. Hän syöksyi huoneen perälle, erotti Muren ja ilmoitti, ettei tästä kirjoiteta mitään. Einiö oli yhteistyöhaluinen, mutta minä en sopinut mitään. Lähdin vähin äänin kirjoittamaan juttua. Käsissäni oli ns. skuuppi.

Imatran Voiman neuvottelijat saapuivat pian Porvooseen lehden toimitusjohtaja Leo Reijosen luo. Reijonen oli juristi, asianajaja. Loppujen lopuksi juttu julkaistiin, ja mikä tärkeintä minulle oli selvinnyt VVER-440:n heikot kohdat.

VUORINEN OLI PITKIÄ JAKSOJA WIENISSÄ

Vuorinen oli 1980-luvulla Suomesta virkavapaalla Wienissä IAEA:ssa. Hän tuli takaisin ja hänet valittiin 1984 Säteilyturvakeskuksen ylijohtajaksi, joka nimike muutettiin myöhemmin pääjohtajaksi.

Vuonna 1986 Tšernobylin ydinvoimalaonnettomuuden aikaan toimin Helsingin Sanomissa oikeustoimittajana. Maanantaina aamulla onnettomuuden jälkeisen viikon alussa olin hakenut Helsingissä Hovioikeudesta erityisen mutkikkaan jutun päätöksen. Olin aloittanut uutisen kirjoittamisen Ludviginkadun toimituksessa, kun minulle tultiin kertomaan kohonneista säteilyarvoista Ruotsissa ja Suomessa.

Kysyin mitä isotooppeja oli havaittu ja mistä päin tuuli. Oli havaittu jodia ja cesiumia. Yritin keskittyä juttuun, kun tilanteen vakavuus alkoi valjeta aivoissani. Totesin toimituksessa ääneen arveluni, että Keski-Venäjällä on hajonnut ydinvoimalaitos.

Minua käytiin ihmettelemässä, pelättiin kai, että mies on seonnut. Vielä koko maanantain ajan vallitsi länsimaissa epätietoisuus siitä, mistä päästö tuli, eikä siitä tiedetty muuta kuin että jodipäästö oli hiltain lähtenyt jostain reaktorista; se olisi voinut olla jopa tutkimusreaktorista, joita oli siihen aikaan eri puolilla Eurooppaa.

Jouduin jonkinlaiseen oikosulkuun, kun kaksi tärkeää asiaa valtasi mielen. Sain hovioikeusjutun vihdoinkin iltapäivällä valmiiksi.

Vasta TV:n iltauutisissa kerrottiin tuoreeseen Moskovon TV:n uutiseen viitaten, mitä oli tapahtunut. Tšernobyliissa Ukrainassa oli tapahtunut ydinvoimaonnettomuus. Asiaa puitiin koko alkukesä, ja elokuun lopussa oli Wienissä onnettomuuden kansainvälinen seurantakokous.

Päätoimittaja Simopekka Nortamo kutsui minut huoneeseensa ja kertoi, että STUKin pääjohtaja Antti Vuorinen on ilmoittanut, että lehden pitäisi lähettää Risto Valkeapää raportimaan kyseisestä kokouksesta. ”Hoidatko homman? Sanoin, että ”hoidetaan”, johon Simopekka jatkoi kiukkuisena ”hoidatko”. Vastasin ”hoidan”. Hesarissa ei selvästikään pidetty Vuorisen ”epävirallisuudesta”.

Mukaani Wieniin laitettiin HS:n toimitusjärjestelmään puhelinlinjoja pitkin suoraan yhdistyvä ”kupla”. Masiina oli lentomatkalaukun kokoinen ja pirun painava. En kehdannut viedä sitä kokouksen lehdistökeskukseen. Muilla toimittajilla oli käytössä läppärit. Kirjoitin jutut lehdistökeskuksen konventionaalisella Adlerilla. STUKin asiantuntijat tarkistivat tekstit ennen kuin sanelin tai paremminkin huusin ne HS:n tietoliikenteeseen. ”Kupla” odotteli hotellihuoneessa ja matkusti sitten mukanani takaisin Helsinkiin.

YHTEYTEMME JATKUI HESARISTA LÄHTÖNI JÄLKEEN

Erosin Helsingin Sanomista vuonna 1989. Nucleonics Week kutsui minut uutiskirjeen Skandinavian kirjeenvaihtajaksi. Kirje maksoi tilaajille 1000 dollaria ja se postitettiin muun muassa kaikkiin maailman ydinvoimaloihin. Olin tehtävässä vuoteen 1993. Silloin eduskunta päätti, ettei Suomeen rakennettaisi lisää ydinvoimaa.

Kirjoitin Nucleonics Weekiin viimeisen uutiseni, jossa kerroin, että Suomi oli ajalehtimassa laajamittaiseen kivihiilen polttoon. Siirsin kirjeenvaihtajuuden Tukholmaan, ja keskityin digimediaan ja historiakirjojen tekemiseen. Kirjoitin edelleen lähinnä energia-asioista. Antin kanssa pidimme yhteyttä.

Tein graduni Tampereen yliopistoon ydinvoima-asenteista vuonna 1996. Asenneajattelu kiinnosti myös Anttia paljon. Aihe oli vaikea. En tiennyt vuonna 1979 maisterintutkintoa aloittaessani kuinka vaikea se olisi. Valmistuin yhteiskuntatieteiden maisteriksi vuonna 2024. Odottelin vuosikausia ruotsin kielen poistumista tutkintovaatimuksista; se ei poistunut, joten minun piti tenttiä pakollinen ruotsi, jotta ikinä valmistuisin. Olin käyttänyt toista kotimaista kieltä työssään vuosikausia, joten tenttiminen onnistui.

Antti Vuorinen oli vakaumuksellinen kristitty. Kerran hän tiedusteli minulta, kuuntelinko aamuhartauksia. Totesin, että olin kiinnostunut uskosta, mutta olin keskittynyt tutkimaan lähinnä sen osuutta ihmisten asennerakenteissa. Antilla oli vahva usko ydinvoiman tulevaisuuteen. Hänessä oli jotakin kuin papillista arvovaltaa.

Antti Vuorinen jäi pääjohtajan tehtävästä eläkkeelle 1997. STUKin pääjohtajan virkaan oli liitetty Vuorisen virkakaudella professorin arvonimi. Arvonimestä oli hänelle hyötyä erityisesti kansainvälisissä tehtävissä. Eläkepäivinä hän seurasi edelleen ydinvoimakysymyksiä. Hän harrasti muun muassa mehiläistenhoitoa ja mökkiaskareita vapaa-ajan asunnollaan Lammilla.

Lähteet

- 1 Kai Hoffman, Säteilyturvakeskuksen historia 1958-2008
- 2 Karl-Erik Michelsen, Tuomo Särkikoski, Suomalainen ydinvoimalaitos, 2005
- 3 Päivälehdien arkisto

YLIVOIMA JA YDINVOIMA SEKAVASSA MAAILMASSA

PALLOMME ON PAHEMMIN sekaisin kuin viimeiseen sataan vuoteen ja historia toistaa itseään. Suurvaltojen naamiot on nyt riisuttu ja johdon julma imperialismi on paljaana, kaikkien nähtävissä.

Flossenburgin keskitysleirillä kuolleen saksalaisen teologin Bonhoefferin mukaan tyhmyys on sosiologista. Vahva valtanmuodostus poliittisen tai uskonnollisen johtajan ympärillä sokaisee suuren määrän ihmisiä ja nostaa heidän tyhmyytensä kukoistukseen. Valtan juovuttava vaikutus aiheuttanee sen, että johtajien puheita on yhä vaikeampi ymmärtää. Carl Jung sanoi:

”Monia (johtajia) voi pitää idiootteina, jos ei ymmärrä ihmistä.”

Tekoäly on yhtä kyvytön analysoimaan suurtalvaltojohtajien puheita kuin keskiverto toimittaja tai politiikan tutkija. Myöskään Jung tai hänen ystävänsä psykoanalyttikko Freud eivät pystyneet tuottamaan uskottavaa arviota aikansa diktaattorien ja maailmansotien julmuuk-



Yrjö Ydin

sien pohjasta ihmisyiden olemuksessa. Yhtä vaikeaa se on nytkin. Jos koko ajan puhutaan vain valeita, miten tuotetaan tasapuolinen ja moniarvoinen analyysi tekosten syistä ja perusteista?

1930-luvulla Einstein kävi kirjeenvaihtoa Freudin kanssa. Pohdiskelu koski diktaattorien julmuuksien perustaa ihmisen olemuksessa. Vastausta ei herrojen tunnustetuista älyllisistä ansioista huolimatta löytynyt. Vuonna 1939 Einsteinin huolestunut kirje Yhdysvaltain presidentille Rooseveltille aloitti ydinaseiden ajan. Tuhovoimaiset ydinaseet joutuivat onnistuneen vakoilun ansiosta myös suuren roistovaltion käsiin.

Saman roistolauman johtajat juhlivat 1930- ja 1940-luvun sotarikoksiaan joka keväisenä Voiton Päivänä. Neuvostoliiton romahtaessa Ukraina luopui ydinaseistaan saatuaan ydinasevaltioiden turvatakuut. Nuo takuut olivat täysin arvottomat. Kun demokratiat eivät enää puolusta toisiaan, on maailmassa valtava kysyntä ydinaseille.

AIEMMIN VAIN NAISIA ja toisuskoisia orjuuttava Isis häiritsi eurooppalaisten rauhaa. Nyt Venäjä murhaa ja uhkailee, ja sotilaallisesti ylivoimaiset amerikkalaiset valmistelevat Grönlannin luonnonvarojen ryöstöä. Kiina taas odottaa kärsivällisesti tilaisuutta kasvattaa alueitaan. Jos ”Butshan teurastaja” ajaa maansa kaaokseen, valtavan maan Siperian osat saattavat kaita Kiinan antamaa turvaa ja rauhaa. Erämaavaellus ja kalastus olisivat valloitus-sotaa hauskenpää nuorison harrastuksia.

Läntisen suurvallan oranssin johtajan naamassa näkyy maailmankaikkeutemme punasiirtymä ja hänen puheensa etäännyvät kiihtyvällä vauhdilla todellisuudesta.

Johtajien puheet ja leikit ovat nykyisin turhan vakavia. Mutta lopulta keltaisen vaaran suurvalta on varmaan vahvoilla. Tansseja ja farsseja esittäneet meikatut ja huumatut taitelijat – hallitsijan hovinarrit – kuuluivat historialliseen Kiinan kulttuuriin. Muskin narrin elkeet eivät siis ihmetytä kiinalaisia.

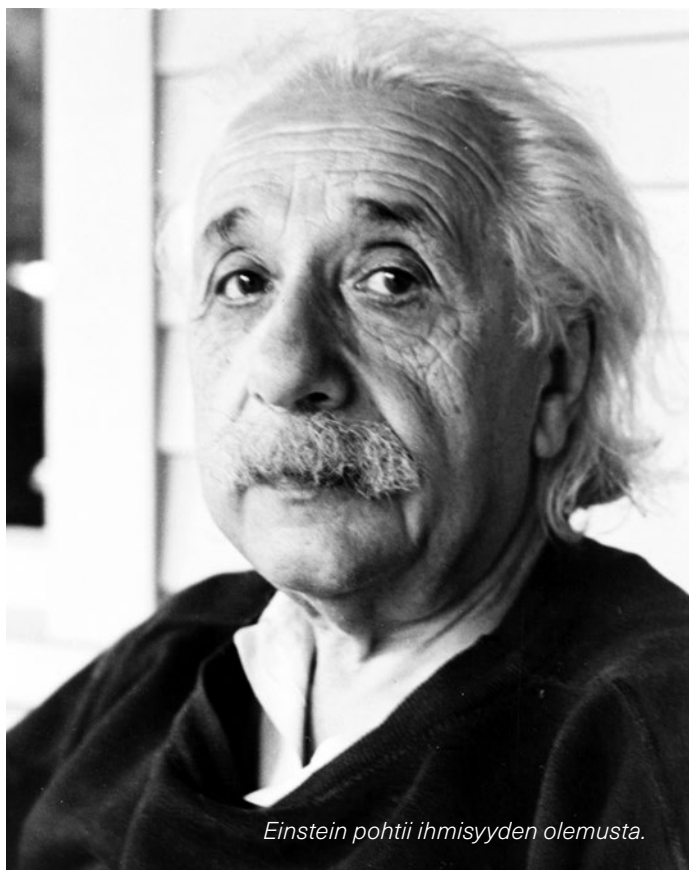
Samoin on Italian vanhassa kulttuurissa. Narrin elkeet otetaan tarvittaessa käyttöön. Italialainen oikeistopoliitikko ja ministeri Salvini pyrki muutama vuosi sitten Trumpin suosioon käyttämällä tämän kuvaa t-paidassaan. Ranskalaiset taas ovat jo aiemmin lanseeranneet oranssin, valko-viinipohjaisen viinin. Sillä pyritään kohti uusien tapojen maailmaa. Tuo kuulas neste sopisi hyvin oranssin hallitsijan hovin pitojen muotijuomaksi.

MAAILMAN UUTiset ovat masentavia. Myös omalla lintukodollamme voisi mennä paremmin. Pitäisikö meidän myöntää sosiaaliturvarakenteen uudistuksen epäonnistuminen? Uudistuksella saimme poliitikoille suojatyöpaikkoja tuottavan hallintohimmemlin. Sote-hirviön ammottava kita nielee verovarait ja lääkäreiden työn laadun valvonta jää tekemättä.

Suurissa sairaaloissa johtavat lääkärit laukovat mielipiteitään, vaikka heillä ei ole aikaa tuottaa kestäviä perusteluja. Nuoremmat lääkärit ja hoitajat taas eivät uskalla avata suutaan. Monien potilaiden kokemusten mukaan paperit on luettava itse, jotta osaa korjata lääkäreiden väärät arvaukset. Muuten pääsee hengestänsä. Pelottaa ajatella niitä, jotka eivät osaa tai uskalla tutkia raportteja.

Sairaalat ovat täynnä byrokratiaa, ja virkamiehet kurittavat suomalaisia muuta Eurooppaa enemmän. Suomen julkisella sektorilla on ylettömästi väkeä ja suomalainen virkamies on ahkera. Latinalainen ”huomenna, jos silloinkaan” virastomeininki tulisi halvemmaksi kaikille.

HALLINNON SIJAAN terveydenhuoltoon pitäisi työllistyä lisää käsiä. Korkeilla palkkatasoilla taas voitaisiin tehdä enemmän töitä. Jos vain jaksaisimme! Mutta asioiden



Einstein pohtii ihmisyyden olemusta.

mennessä pieleen maailman onnellisimmalla kansalla on hymy huulillaan. Ja mitään ei tehdä!

Pari esimerkkiä: hoivakotipaikka maksaa Suomessa 6000 euroa kuussa. Hotelli olisi vanhukselle halvempi vaihtoehto, ja vastaanotosta saisi kunnon palvelua.

Virolainen terveyskeskuslääkäri ottaa vastaan 17 potilasta, kun suomalainen rehki kokonaista viisi potilasta työpäivässä. Ilman parempaa tietoa lääkärin työstä, kuvittelisi suomalaisen lääkärin pystyvän edes puoleen virolaisen lääkärin työpanoksesta.

Tuolla 8 tai 10 potilaan päivätahdilla jäisi vieläkin voimia työpäivän jälkeiselle yksityisvastaanotolle. Hoitojonot katoaisivat ja lääkärin osaaminen kohenisi kokemuksen kasvaessa. Mutta silloin pitäisi luopua nelipäiväisestä työviikosta. Se kuulemma lievittää päivätyön suomalaiselle lääkärille tuottamaa ylenmääräistä kuormitusta. Onneksi lääkärin töihin pyrkii myös paremmin työntekoa ja stressiä sietäviä ulkomalaisia!

Muutoksia vastustetaan kaikin keinoin. Lukuisat tiedotusvälineemme ovat kyvyttömiä tarjoamaan tilastoja ja asioiden loogisia analyysejä. Eikö tilastoja voisi julkaista ensin? Sitten voisi julkaista tekoälyllä englannin kielestä käännetyt tyhmyydet ja salaliittoteoriat lehden omina uutisina.

Oikeaa älyä uutisissa on harvoin, eikä koskaan Porvoon mitalla. Sillä sai aikoinaan reilusti ruokaa Porvoon Seurahuoneen seisovasta pöydästä.

YDINVOIMA ON ONNEKSI nousussa. Poh-tiessamme pienien reaktorien vaatimuksia ja niiden lupapaperien tarvetta olemme edenneet kauas Suomen ydinvoiman alkujoista. Tuolloin neuvostoliittolaiset kertoivat Loviisan reaktorin putket valmistettavan niin hyvin, että niiden rikkoutuminen on mahdotonta. Niinpä isojen putkien katkoon ei olisi tarvinnut varautua.

No, putkikatkoon varauduttiin ja Loviisan yksiköille tehtiin jopa suojarakennukset. Myöhemmin Tshernobylin ydinturma opetti venäläisille kipeästi, että suojarakennus kannattaa rakentaa. Opittuaan tuon ja muutakin he perustivat 1980-luvulla oman viranomaisorganisaation, joka valvoo ydinvoiman laatua ja rakentamista.

Mutta miten ydinvoiman noususta saataisiin otettua Suomessa kaikki irti? Toivottavasti ei mennä takki auki maailmalle ja Nokian menestystä muistellen. Nokia-harha on haitannut vuosia Suomen teollisuuden johtamista. Nokia tarjosi menestystä, hyvinvointia ja rikastumisia, mutta aiheutti siitä oppinsa ammentaneen johdon kapeakatseisuutta. Riskejä

osattiin ottaa, mutta omaan erinomaisuuteen luotettiin aina ihan liikaa. Oma tai muiden menestysmalleja ei ymmärretty tutkia. Rahaa meni maailman tuuliin – ja paljon.

Myös Euroopan ydinvoimateollisuudessa vallitsee sama oman erinomaisuuden harha. Siitä pitäisi päästä eroon. Korealaisten joustava ja halpa ydinvoiman vienti lyö Euroopan ja ylpeän Ranskan helposti. Korealaisten kykyä muuntua projektin mukaan olisi syytä arvostaa. Ja siitä sekä Kiinan ydinvoimarakentamisesta voisi ottaa oppia. Kiinalaiset tunnistavat ja poimivat parhaat osat kustakin reaktorityypistä omiin laitosmalleihinsa.

Entä Suomi? Uusien laitosten rakentaminen tänne voi olla liian haastavaa. Jos haluat rakentaa ison tehoreaktorin, hinta ei ole enää vain 5, vaan yli 10 miljardia euroa. Tuota rahaa ei anneta helpolla. Ja iso laitos ei tahdo mahtua heikentyneisiin sähköverkkoihin.

EUROOPAN SÄÄNNÖSVIIDAKKO ei ole muuttanut ydintekniikan turvallisuutta, mutta tuplaa laitosten hinnan. Ydinvoimateollisuuden pitäisi kivuta takaisin alansa ohjaimiin. Entistä monimutkaisempia viranomaisvaatimuksia ei pidä hyväksyä, jos niillä ei ole oikeaa turvallisuusvaikutusta. Jos teollisuus ei herää ja johda kehitystä, jäävät useat Euroopan ydinvoimahankkeet haaveiksi.

Mutta toivoa on. Ydinvoiman käyttöä lämmitykseen yritetään taas. Vaaditun paperityön määrä vain pitäisi supistaa neljännekseen nykyisestä. Ja laitos pitäisi rakentaa ripeästi. Suomen säännösten uudistajat ovat nyt paljon vartijoina. Mitenhän käy?

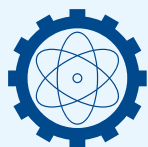
Ydinvoima voisi nousta uuteen kuokistukseen ja uusien laulujen aikaan. Esimerkiksi viisikymmenluvun sodanjälkeiseen sielunmaisemaan laulettu suomalainen rakkaustarina "Päivänsäde ja menninkäinen" voitaisiin sanoittaa uudelleen. Somevaikuttajatyttö ja insinööri-pojan romanttinen rakkaustarina saisi nimen "Onlyfans-tähti ja tekoälyhaamu."

Palautusosoite:

Suomen Atomiteknillinen Seura
c/o Tommi Lyytinen
PL 1000
02044 VTT

Osoitteenmuutokset:

sihteeri@ats-fns.fi

**ATS**

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

**KANNATUS-
JÄSENET****AFRY FINLAND OY****FINNUCLEAR RY****FORTUM POWER AND
HEAT OY****HELEN OY****KONECRANES OYJ****LUT-YLIOPISTO****PAGODE OY****PLATOM OY****POHJOISMAINEN
YDINVAKUUTUSPOOLI****POHJOLAN VOIMA OYJ****POSIVA OY****STEADY ENERGY OY****SWECO FINLAND OY****TEKNOLOGIAN TUTKIMUS-
KESKUS VTT OY****TEOLLISUUDEN VOIMA OYJ****WESTINGHOUSE**