

ATS YDINTEKNIikka

2/2026

Vol. 55

SMR-PILOTTILAITOS ETENEE

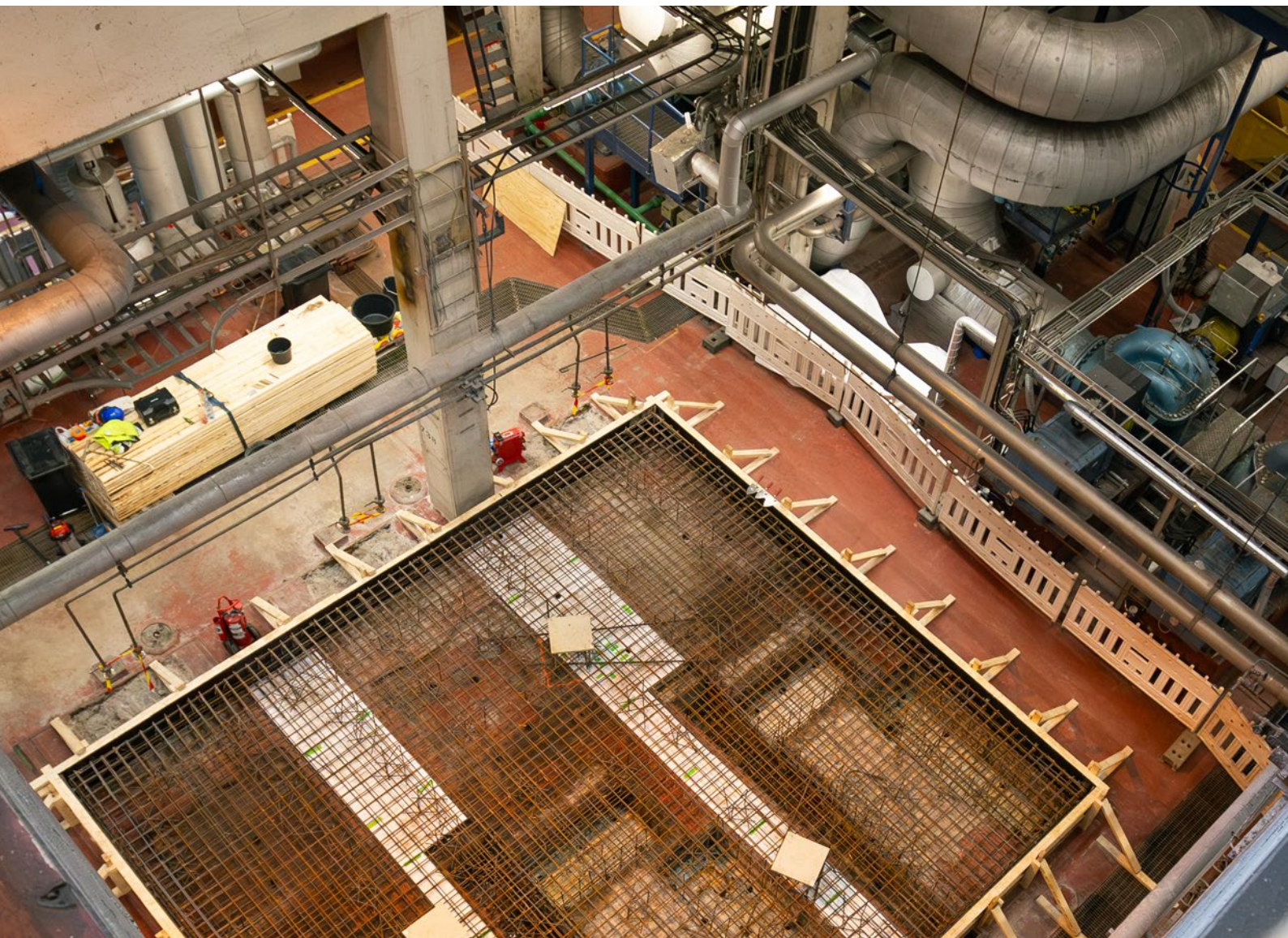
Steady Energyn kaukolämpöreaktorin testausalusta on rakenteilla Helsingin Salmisaassa.

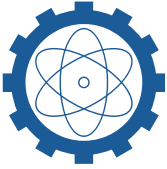
LOPPUSIJOITUS SYVIIN KAIRAREIKIIN?

Syväkairareitit tarjoavat mahdollisen loppusijoitusratkaisun, mutta radionuklidien pidentymistä ja kulkeutumista on tutkittava.

YDINNUORISO PRAHASSA

Euroopan ydinenergianuorten verkosto kokoontui Tšekissä ja tutustui maan tutkimusreaktoreihin.





ATS YDINTEKNIikka

Julkaisija / Publisher

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

www.ats-fns.fi

Johtokunta / Board

Puheenjohtaja / President

TkT Antti Hakola
puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja / Vice President

DI Teemu Sällylä
teemu.sallyla@fortum.com

Sihteeri / Secretary General

FM Tommi Lyytinen
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Topi Tupasela
topi.tupasela@stuk.fi

Jäsenet / Board Members

FT Jani Huttunen
jani.huttunen@tvo.fi

DI Pirjo Knuuttila
pirjo.knuuttila@steadyenergy.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, FM Jenna Järvenpää
jenna.jarvenpaa@vtt.fi

Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

MSc Ana Jambrina
ana.jambrina@vtt.fi

Women in Nuclear Finland

DI, FM Jenna Järvenpää
jenna.jarvenpaa@vtt.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

DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@gmail.com

DI Unna Lauranto
unna.lauranto@vtt.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 yhdysiteenä jäsentensä kesken kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi sekä vaihtaa tietoja ja kokemuksia kansainvälisellä tasolla. ATS on Tieteellisten seurain valtuuskunnan jäsenseura.

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

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



MUISTAMME ONNETTOMUUDET, OTIMMEKO OPIKSI?

Kevään 2026 aikana tuli täyteen 15 vuotta Fukushima Daiichin onnettomuudesta ja 40 vuotta Tshernobylin onnettomuudesta. Utismaailman käänteisen yleissäännön mukaisesti hyvä uutinen ei ole uutinen, joten eipä ihme, että nämä onnettomuudet nousevat otsikoihin vuosittain.

Viime vuonna STUK pyysi ja sai siivun suomalaisten sienestäjien saaliista. Kun cesium-137:n puoliintumisaika on 30 vuotta, analyysitulokset ei ole yllättävä: sienissä näkyvät edelleen Tshernobylin jäljet. STUK antoi tälle oivallisen perspektiivin: jos syö 12 kg mustavahakkaita, niin se vastaa Helsinki-New York-Helsinki lennon aiheuttamaa lisäannosta 0,1 mSv. Keskimääräisen suomalaisen vuosiansion kaikista luonnon säteilylähteistä on noin 5 mSv.

ATS:n Young Generation järjesti 6.5. kaikille jäsenille avoimen Tshernobyl-webinaarin, missä VTT:n tutkimusprofessori Jaakko Leppänen kertoi selkokielisesti onnettomuuden kulusta. Vuosikymmenten aikana tiedeyhteisön tulkinta onnettomuuden syistä on siirtynyt painottamaan RBMK-reaktorityypin suunnitteluvirheitä, tärkeimpinä positiivinen aukko-osuuserroin ja säätösauvojen rakenne, sekä heikkoa turvallisuuskulttuuria.

Suorista ja laskennallisista ihmisuhreista huolimatta voi kysyä, onko kahden pahimman ydinonnettomuuden uhreista suurin osa aiheutunut suuremmalla viipeellä, kun onnettomuuksien jälkeen länsimaat lopettivat ydinvoiman rakentamisen ja jotkut jopa sulkiivat toimivia ydinvoimalaitaan? Arviointi on vaikeata, kun ydinvoimarakentamisen alamäkeen vaikuttivat myös projektiviipeet ja sähkömarkkinoiden vapautuminen. Joka tapauksessa Euroopassa tilastoidaan vuosittain 200 000 ennenaikaista kuolemaa pienhiukkaspäästöjen takia, ja näistä merkittävä osa aiheutuu fossiilisesta energiantuotannosta.

Jarmo Ala-Heikkilä

Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

VAKIOPALSTAT

PÄÄTOIMITTAJALTA

Muistamme onnettomuudet, otimmeko opiksi?..... 3

PÄÄKIRJOITUS

Ydinenergian tulevaisuus rakennetaan tutkimuksella..... 4

EDITORIAL

The future of nuclear energy is built on research..... 5

KOLUMNIT

Arkistolöydöt herättivät muistelemaan..... 37

PAKINA

Viisauden jäljillä..... 42

TAPAHTUMAT

Finland as featured country in WMSymposia2026 conference..... 6

WiN-asiantuntijaristeily Tallinnaan..... 10

Kraken-työpaja PHYSOR 2026 -konferenssissa..... 13

YG edustamassa CCM1:ssa Prahassa..... 16

Vuosikokous 2026 Tieteiden Talolla..... 21

AJANKOHTAISTA

Syvyysuuntainen puolustushimmeli..... 24

Steady Energyn pilottilaitos etenee: passiivisen turvallisuuden testausalusta kaukolämpöreaktorille..... 28

TIEDE JA TEKNIikka

Syväkairareikäloppusijoitus ja radionuklidien käyttäytyminen syvällä kallioperässä..... 30

Anita Fabritius

Master's thesis: Applicability of NURES® ion exchange materials for holistic radioactive liquid waste treatment..... 34

Weronika Maria Wojnicka

YDINENERGIAN TULEVAISUUS RAKENNETAAN TUTKIMUKSELLA

Ydinenergialla on tärkeä osa Suomen energiajärjestelmässä, ja ydinenergiaohjelmamme kuuluu maailman onnistuneimpiin. Meillä on pidetty onnistuneesti huolta laitosten turvallisuudesta ja käytettävyydestä myös silloin, kun ydinenergia ei ole ollut muodissa. Meidän ydinjätehuoltomme on vastuullista ja innovatiivista systemaattista. Onnistuminen ei ole sattumaa, vaan perusta on rakennettu pitkäjänteisellä työllä. Tutkimuksella on löydetty ratkaisuja haasteisiin ja kasvatettu kotimaista osaamista.

Maaliskuussa hallitus antoi esityksensä ydinenergiain kokonaisuudistuksesta. Tavoite on mahdollistaa uusien teknologioiden käyttöönotto ja sujuvoittaa lupaprosesseja. Ydinvoiman rooli korostuu Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamisessa ja sähköistämistarpeiden kasvussa. Puhtaan sähkön vakaa hinta ja toimitusvarmuus ovat kilpailukykyvaltte-

ja ja tärkeitä houkuteltaessa Suomeen investointeja.

Lakiesitykselle asetetut tavoitteet ovat saavutettavissa. Turvallisuudesta ja ydinjätehuollon vastuullisesta toteuttamisesta ei olla tinkimässä. Lupajärjestelmän muutokset tuovat toivottavasti joustavuutta uusien hankkeiden toteutukseen ja pienentävät niihin liittyviä riskejä. Teknologianeutraalius mahdollistaisi aivan uudenlaiset ydinenergiaratkaisut. Ratkaisevaa on tietenkin se, miten lakia sovelletaan käytännössä.

Esitykseen sisältyy kuitenkin myös huolestuttava puoli, sillä kansallista tutkimusrahoitusta ollaan vähentämässä. Tutkimustarpeet eivät suinkaan ole vähenemässä – päinvastoin. Vanhimpien yksiköiden käyttöikää ollaan pidentämässä 70 tai jopa 80 vuoteen. Vanhimmat maailmalla käytössä olevat yksiköt ovat hieman yli vii-

sikymppisiä, joten eteen tulevista ilmiöistä ei ole kokemusta.

Samalla uudet teknologiat kehittyvät nopeasti. Viime vuonna maailmalla nähtiin ensimmäiset kaupalliset investoinnit pieniin modulaarisiin reaktoreihin. Uusia käyttökohteita kartoitetaan, ja ydinenergialla voi olla tärkeä rooli kaukolämmöntuotannon ja merenkulun päästöjen vähentämisessä. Fuusioteknologian kaupallistaminen kerää rahoitusta ja yhtiöt etsivät paikkoja ensimmäisille pilottilaitoksille.

Selkeä lainsäädäntö ja sääntely vahvistavat Suomen houkuttelevuutta alan kehittäjille ja pienentävät hankkeiden riskejä. Lisäksi hankkeiden toteuttaminen vaatii monenlaista osaamista sekä teollisuuden että julkishallinnon puolella. Tutkimus on keskeinen keino kasvattaa osaamis pohjaa uusien ratkaisujen luomisessa, etenkin kun työtä tehdään yhdessä teollisuuden kanssa. Kotimainen tutkimusinfrastruktuuri ja osaaminen ovat lisäksi tärkeitä huoltovarmuudelle, kun ydinvoimalla tuotetaan noin 40 % Suomen sähköstä.

VTT tukee Suomen kasvua: vauhditamme elinkeinoelämän uudistumista, luomme uusia startuppeja ja tuemme kasvuyrityksiä sekä vahvistamme yhteiskunnan resilienssiä. Tämä roolimme näkyy vahvasti ydinenergiakentälläkin. Pidämme osaltamme huolta kotimaisesta osaamisesta, jotta Suomi on jatkossakin ydinenergian käytön vastuullinen edelläkävijä, jossa ennakoitava sääntely, huippuosaaminen ja käytännön toteutus kulkevat käsi kädessä.

Kalle Härkki
toimitusjohtaja
VTT



THE FUTURE OF NUCLEAR ENERGY IS BUILT ON RESEARCH

Nuclear energy plays a vital role in Finland's energy system, and our nuclear energy program is among the most successful in the world. We have successfully ensured the safety and availability of our facilities even when nuclear energy was not trendy. Our nuclear waste management is responsible, and our innovation is systematic. This success is no accident; rather, the foundation has been built through long-term work. Research has identified solutions to challenges and fostered domestic expertise.

In March, the government submitted its proposal for a comprehensive reform of the Nuclear Energy Act. The goal is to facilitate the adoption of new technologies and streamline licensing processes. The role of nuclear power is becoming increasingly important in achieving Finland's climate goals and meeting growing electrification needs. Stable prices for clean electricity and security of supply are competitive advantages and important factors in attracting investments to Finland.

The objectives set for the law proposal are achievable. There will be no compromise on safety or the responsible management of nuclear waste. Changes to the licensing system will hopefully bring flexibility to the implementation of new projects and reduce the risks associated with them. Technology neutrality would enable entirely new types of nuclear energy solutions. Of course, the decisive factor is how the law is applied in practice.

However, there is also a worrying aspect to this proposal, as national research funding is being cut. The need for research is by no means diminishing—quite the contrary. The service life of the oldest units is being extended to 70 or even 80 years. The oldest units in operation worldwide are just over 50 years old, so there is

no experience with the phenomena that lie ahead.

At the same time, new technologies are developing rapidly. Last year, the world saw the first commercial investments in small modular reactors. New applications are being explored, and nuclear energy may play an important role in district heating and reducing emissions from shipping. The commercialization of fusion technology is attracting funding, and companies are looking for sites for their first pilot plants.

Clear legislation and regulation enhance Finland's appeal to developers in the sector and reduce the risks associated with projects. Furthermore, implementing these projects requires a wide range of expertise from both the private and public sectors. Research is a key means of expanding the knowledge base for creating new solutions, especially when working in collaboration with industry. Domestic research infrastructure and expertise are also crucial for security of supply, as nuclear power generates approximately 40% of Finland's electricity.

VTT supports Finland's growth: we accelerate the renewal of the business sector, create new startups, support growth companies, and strengthen society's resilience. This role is also strongly evident in the field of nuclear energy. We do our part to care for domestic expertise so that Finland remains a responsible pioneer in the use of nuclear energy, where foreseeable regulation, cutting-edge expertise, and practical implementation go hand in hand.

Kalle Härkki
CEO
VTT



FINLAND AS FEATURED COUNTRY IN WMSYMPOSIA2026 CONFERENCE

Finland's radioactive waste management expertise was in the spotlight at this year's international Waste Management Symposia 2026 (WM2026), held from 8–12 March 2026 in Phoenix, Arizona. The annual event brought together leading experts, policymakers, and industry representatives from across the global nuclear waste management community. This year's conference was particularly notable for Finland, which was designated as the featured country, highlighting its internationally recognised leadership in radioactive waste management.



Dr. Erika Holt

Lead, Nuclear Energy back-end
VTT Technical Research Centre
of Finland
erika.holt@vtt.fi



Dr. Antti Rätty

Senior Scientist
VTT Technical Research Centre
of Finland
antti.ratty@vtt.fi

Text: Erika Holt, Antti Rätty

The Finnish Team prepared for year to shine in the spotlight at WMS, where 2900 attended from 30 countries. Nine Finnish companies committed to showcasing our experience through panel discussions, technical presentations or posters and a Finland booth at the exhibition area. VTT coordinated the effort together with FinNuclear Association, to engage the companies Posiva and Posiva Solutions, Fortum, TVO, VTT, GTK, DeepGEO, Hidex, Nutronic, and Taratest.

The conference's exhibition area of 200 booths complemented the technical program by providing a space for informal discussions and exchanges between participants. Our "Team Finland" booth functioned primarily as a point of contact, where conference attendees could engage with Finnish experts and obtain additional information related to topics presented in the sessions.

The joint arrangement reflected the multi-organisational nature of the Finnish programme and allowed for perspectives from different parts of the system to be presented side by side. A highlight of the week was the Featured Country reception

Finnish delegates at our Exhibition booth, with representation of Posiva and Posiva Solutions, Fortum, TVO, STUK, Eurajoki municipality, MEAE, VTT, GTK, University of Helsinki, DeepGEO, Hidex, Nutronic, and Taratest (photo: Gordon Murray, WMS).

on Monday evening, including a visit from Joulupukki, Finland signature gin-tonics, playing mölkky and fun giveaways like reflectors, Fazer chocolate, Finnish licorice and Jenkki Xylitol chewing gum.

PLENARY SPEECHES IN THE OPENING SESSION

The opening session of the conference established the tone for the entire conference, combining a global outlook on radioactive waste management with a strong emphasis on Finland's role as the featured country. As is customary for WM Symposia, the session brought together senior representatives from government, industry, and international organisations to reflect on the current challenges and progress in the field, while also highlighting leading national programmes.

Linda Kumpula, Senior Specialist at Finland's Ministry of Economic Affairs and Employment (MEAE), outlined the strategic foundations of Finland's nuclear waste policy, emphasising long-term political commitment, a clear legislative framework, and the importance of public trust. She positioned Finland's programme as the result of decades of consistent decision-making and cooperation between government, regulator, industry, and local stakeholders.

Complementing this policy perspective, Ilkka Poikolainen, President and CEO of Posiva Oy, provided an industry-focused intervention that highlighted the practical progress of the Finnish repository programme. His remarks focused on the transition from construction to operational readiness at the spent nuclear fuel repository, underlining the technical maturity of encapsulation and disposal systems as well as the importance of stepwise implementation and licensing.

Together, these contributions illustrated the dual nature of Finland's success: a strong policy and regulatory backbone combined with robust technical execution. These are reinforced with transparent communication and dialogue with stakeholders, to maintain trust and keep momentum of the programme. The Finnish messages were well aligned and reinforced each other, presenting a coherent narrative of a programme that has moved beyond planning into realisation.

More broadly, the opening session framed Finland as a reference case for the international community, particularly as the first country in the world to reach the operational phase of spent nuclear fuel deep geological disposal. This positioning was echoed by other speakers in the session, who highlighted the increasing global momentum in nuclear energy and the corresponding need for credible, long-term waste solutions.

PANEL DISCUSSIONS

Finland's role as the featured country was most clearly demonstrated through three high-level panel discussions on the first day, which together provided a comprehensive view of the country's nuclear waste

management programme. The topics included high-level radioactive waste management, low- and intermediate-level radioactive waste management, decommissioning, technology innovation, supply chain, policy and regulations, and stakeholder dialogue.

The first panel focused on the success story of Posiva Oy and its spent nuclear fuel repository, which is approaching operation. Co-moderated by Johanna Hansen and Barbara Pastina (Posiva), the session brought together key stakeholders across government, regulator, industry, and the local municipality. Contributions from Linda Kumpula (MEAE), Jaakko Leino (STUK), and Ilkka Poikolainen (Posiva) highlighted the policy, regulatory, and technical maturity of the programme, while Anni Jaarinen (Fortum) and Vesa Lakaniemi (Eurajoki) emphasised the importance of industrial commitment from the owner's perspective, communication, and local acceptance.

Heini Reijonen (GTK) contributed on how understanding the geological perspectives and other supporting technical expertise from across Finland has contributed to the repository success. Lukas Vondrovic, CEO of SURAO waste management organisation in Czech Republic, completed the panel by sharing how other countries have benefited from the collaboration with Finland.

The second panel addressed Finland's decades of experience in managing low- and intermediate-level waste (L/ILW), including decommissioning, pre-disposal treatments, and geological disposal. Co-moderated by Matti Kaisanlahti (Fortum) and Erika Holt (VTT), the discussion included Otso Manninen (Fortum), Annukka



Special guests at the Featured Country reception on Monday evening at the Finland exhibition booth (photo: Erika Holt, VTT).

WMS opening Plenary session, including keynote invited speakers Linda Kumpula of the Ministry of Economic Affairs and Employment and Ilkka Poikolainen, CEO of Posiva Oy (photo: Erika Holt, VTT).



Laitonen (TVO), Ismo Aaltonen (GTK), and Jani Halinen (VTT), alongside contributions from Jaakko Leino (STUK) and Linda Kumpula (MEAE).

The panel emphasised how Finland has developed an efficient and economically sustainable system by integrating pre-disposal, disposal, and decommissioning within a clear regulatory and operational framework. The two nuclear power plant utilities have been implementing the programme, including final disposal at Loviisa and Olkiluoto, for over 40 years and also support other countries.

The third panel focused on the role of innovation and technology in Finland's success in back-end radioactive waste management. Co-moderated by Erika

Holt (VTT) and Heini Reijonen (GTK), it featured contributions from Edgar Bohner (VTT), Johanna Hansen (Posiva), Annukka Laitonen (TVO), Rauli Partanen (DeepGEO), Gianni Vettese (University of Helsinki), and Elmo Wiikinkoski (Hidex). The discussion highlighted how long-term research, advanced modelling, and tech-

nological innovation—often developed through international collaboration—have directly supported implementation.

Together, these three panels illustrated a coherent Finnish approach, linking policy, science, and industrial practice. They demonstrated that Finland's success is not based on a single breakthrough, but on sus-

Finland's panel presenters covering technology and innovation to support success (photo: David Hess, DeepGEO).



Team Finland also enjoyed local Arizona culture, including local BBQ food, music, rodeo, Grand Canyon hiking, golfing in the WMS charity conference and more (photo: Antti Rätty, VTT at Rustler's Rooste).

tained collaboration, integration across organisations, and the ability to translate research into operational solutions.

TECHNICAL PRESENTATIONS

The WMS agenda included 4-days of 225 parallel sessions across 12 thematic areas, and Finland was well-represented every day. Finnish contribution included altogether 24 technical presentations or posters especially from Fortum, Posiva and Posiva Solutions, TVO, VTT, GTK, and universities. This highlighted Finland's comprehensive expertise across the full radioactive waste and decommissioning lifecycle, from operational waste management to final disposal and repository commissioning.

Decommissioning optimisation, waste characterisation, and long-term safety case development emerged as recurring themes grounded in decades of operational data. Several presentations focused on deep geological disposal, including repository commissioning, requirements management, organisational learning, and stakeholder engagement. Scientific advances in engineered barrier buffer materials, bentonite behaviour, efficiency in decommissioning, waste conditioning by cementation, and geopolymerisation supported improved safety and performance of disposal concepts.

Overall, the contributions demonstrated a strong integration of operational experience, research innovation, regulatory maturity, and stakeholder communication supporting safe and sustainable radioactive waste management.

CONCLUSIONS

Finland's participation in Waste Management Symposia 2026 demonstrated not only technical excellence but also exceptional coordination across organisations and individuals. Future years will surely see Finnish participants to WMS and, hopefully, after another 10 years we can again be the featured country to share of our further



advances in operational experience and international collaboration.

The panel discussions, various technical presentations, and networking discussions showed that Finland's success lies not just in technology, but in collaboration between implementers, utilities, and researchers and consistent and transparent communication across all levels. Combined with forward-looking research and demonstrations, Finland's presence at WM2026 firmly established it as a global reference model for successful holistic radioactive waste management—both in practice and in vision. 🌐

The technical program is available at the conference website: www.xcdsystem.com/wmsym/program/UzxU61v/index.cfm



WIN-ASIAANTUNTJARISTEILY TALLINNAAN

Women in Nuclear Finland kokosi ydinalan asiantuntijoita asiantuntijaristeilylle Tallinnaan maaliskuussa. Matkan aikana kuultiin ajankohtaisia esityksiä ydinalasta, keskusteltiin kansainvälisistä hankkeista ja tutustuttiin Viron ydinenergiasuunnitelmiin Fermi Energian avulla.

Teksti: Anita Fabritius, Kirsi Hassinen, Veera Rantavaara

Kuvat: Jenna Järvenpää

Women in Nuclear Finland (WiN Finland) toimii aktiivisena verkostona, joka edistää avointa keskustelua, osaamista ja yhdenvertaisuutta ydinalalla Suomessa. Järjestön toiminta tuo yhteen ydinenergia-alan asiantuntijoita, opiskelijoita ja alasta kiinnostuneita tarjoten ajankohtaista tietoa sekä mahdollisuutta verkostoitumiseen.

Yhtenä esimerkkinä tästä toiminnasta WiN juhli naistenpäivää ennakoon ja järjesti asiantuntijaristeilyn Tallinnaan 6–7.3.2026. Matkalla kuultiin WiN:n jäsenten esitelmää ajankohtaisista ydinalan aiheista sekä perillä Fermi Energian ja Viron ydinenergian tilanteesta, ja illan kruunasi kansainvälinen illallinen Tallinnan tunnelmallisessa Bruxx-ravintolassa.



FM Anita Fabritius
Väitöskirjatutkija
(kemian ja molekyyli­tieteet)
Helsingin yliopisto
anita.fabritius@helsinki.fi



DI Kirsi Hassinen
Toimitusjohtaja
Platom Oy
kirsi.hassinen@platom.fi



DI Veera Rantavaara
Lisensiointi-insinööri
Steady Energy Oy
veera.rantavaara@steadyenergy.fi

Huippuesitysten lisäksi myös sää oli täydellinen naistenpäivän viikonloppuna Tallinnassa.

ASiantuntijana Lähi-IDässä

Menomatalla WiNille oli varattu laivassa lounge-tila, jossa kolme esiintyjää toi esille ydinalan eri näkökulmia ja ajankohtaisia asioita. Eija Karita Puskan esitelmässä "Asiantuntijana abayassa ja blazerissa Lähi-Idän suunnalla – ydinvoimaa eri kulttuureissa" kuultiin mielenkiintoisia kertomuksia työskentelystä ydinenergian parissa Pakistanissa, Yhdistyneissä Arabiemiirikunnissa ja Saudi-Arabiassa. Eija Karita kertoi työskentelystään Pakistanissa 1990-luvulla, jolloin hän toimi VTT:n projektipäällikkönä Chashma-ydinvoimalan koulutusmullaattorin kehityksessä.

Työ sisälsi useita 1–2 viikkoa kestäviä matkoja Pakistaniin, joista suurimman osan hän suoritti yksin. Kulttuurierot olivat merkittäviä, ja Eija Karita kertoi mielenkiintoisia konkreettisia esimerkkejä kahvilan seinillä näkyneistä Osama bin Ladenin kuvista, ajoittain poliittisesti jännittyneestä ja anti-amerikkalaisesta ilmapiiristä ja kaotuksesta liikenteestä. Päivisin yli 50 asteen helle pakotti työskentelemään iltaisin, jolloin ulkona oli edelleen noin 36 astetta eikä simulaattorihuoneessa ollut lainkaan ilmastointia. Yksi matkoista osui Intian ja Pakistanin ydinkokeiden väliselle viikolle vuonna 1998.

2010-luvulla Puska toimi VTT:n työpaikkapäällikkönä Barakahin ydinvoimala-

yksiköiden turvallisuusarvioinnissa. VTT toimi projektissa FANR:n alihankkijana kansainvälisen konsulttiyrityksen kautta. Työ tapahtui pääosin Suomesta käsin, ja projektissa toimivat asiantuntijat olivat pääosin länsimaalaisia.

Uransa aikana Eija Karita myös työskenteli VTT:n projektipäällikkönä K.A. CARE:n useissa projekteissa Saudi-Arabiassa, joissa VTT toimi australialaisen Allen Consulting -yhtiön kautta. Eija Karita korosti, että hänen asiantuntijuuttaan arvostettiin ja häntä kohdeltiin hyvin niissäkin maissa, joissa naisen rooli on perinteisesti rajatumpi. Kaikissa maissa vallitsi lämminhenkinen vieraanvaraisuus, josta viesti esimerkiksi hotellin henkilökunnan tervehdys "Welcome home", kun hän saapui hotellille. Puskan esitelmä osoitti erityisesti, että kansainväliset ydinenergiahankeet ovat aina kulttuurisia kohtaamisia eivätkä ainoastaan teknisiä projekteja.

VÄITÖSKIRJATYÖ SMR: IEN YDINJÄTTEEN LOPPUSIJOTUKSESTA

Helsingin yliopistolla väitöskirjatyötään tekevä Anita Fabritius esitteli omaa tutkimusprojektiaan ja vaihtoehtoja syväkairareikäloppusijoitusmenetelmää esitelmässään "Syväkairareivät SMR:ien ydinjätteen loppusijoituksessa". Esitelmässä tarkasteltiin Onkalon ja louhitun loppusijoituslaitoksen haasteita SMR:n ydinjätteen loppusijoituksessa. Näihin haasteisiin syväkairareikäloppusijoitus voisi tarjota potentiaalisen ratkaisun, joskin

WIN FINLAND

Mikä?

Women in Nuclear -verkoston suomalainen jäsenjärjestö, joka toimii Atomiteknillisen Seuran (ATS) toimintaryhmänä.

Kenelle?

Kaikille ydinallalla työskenteleville ja alasta kiinnostuneille naisille sekä kaikille, jotka haluavat edistää yhdenvertaisuutta, tasa-arvoa, osaamista ja avointa keskustelua ydinenergiasta Suomessa.

Miksi?

Tavoitteena on tehdä ydinvoimasta ja säteilyistä ymmärrettävää suurelle yleisölle, vähentää perusteettomia pelkoja sekä oikeista väärinkäsityksiä ja virheellistä tietoa. Tavoitteena on myös lisätä ymmärrystä ydinenergian merkityksestä ilmastotyössä ja yhteiskunnassa.

Miten?

Järjestön toiminnan ytimessä on tutkituun tietoon perustuva, selkeä ja avoin viestintä.

Järjestö kannustaa nuoria, erityisesti tyttöjä, ydinallalle ja STEM-opintoihin, jotta tulevaisuuden osajakunta olisi monimuotoinen. WiN Finland toimii esikuvana nuorille näyttäen, että myös nainen voi viihtyä ja toimia asiantuntijana ja päättäjänä teknisillä aloilla. Järjestö tarjoaa myös ydinallalla näkyvyyttä naisten asiantuntemukselle ja saavutuksille ja tuo ilmi, että ala tarvitsee monipuolisia näkökulmia ja osajia sekä kansallisella että kansainvälisellä tasolla.

WiN Finland järjestää tapahtumia, seminaareja ja vierailuja ydinallan asiantuntijoille ja opiskelijoille. Tapahtumat tukevat osaamisen kehittämistä, ajankohtaisten aiheiden käsittelyä ja muuta alan sisäistä keskustelua. Samalla ne tarjoavat tilaisuuksia verkostoitumiseen. WiN Finland toimii myös aktiivisesti sosiaalisessa mediassa, kuten LinkedInissä ja Instagramissa.



Fermi Energian Henri Ormus piti mielenkiintoisen katsauksen Viron ydinenergiatilanteeseen.

Reissun kruunasi illallinen tunnelmallisessa ravintolassa. Illallisen aikana tutustuttiin uusiin ihmisiin ja vaihdettiin kuulumisia tuttujen kanssa.



sen käyttöönotto vaatii vielä merkittävästi lisätutkimuksia. Aiheesta on laajempi artikkeli tässä lehdessä (s. 30–33).

AJANKOHTAISKATSAUS YDINENERGIALAIN KOKONAISUUDISTUKSEEN

Menomatkan viimeisessä esitelmässä kuultiin ajankohtaiskatsaus ydinenergian kokonaisuudistuksen tilanteesta, kun Platomon toimitusjohtaja ja ydinvoima-alan lainsäädännön luvitusvaatimusten asiantuntija Kirsi Hassinen esitteli aihetta esitelmässään ”Ydinenergian ja STUK-määräysten muutosten ajankohtaiskatsaus”. Esitelmässään Kirsi avasi lakiesityksen merkittävimpiä muutoksia ja nosti esille myös uusiin luonnoksiin liittyviä haasteita erityisesti lakia ja määräyksiä käyttävien organisaatioiden näkökulmasta mahdollisia SMR-hankkeita unohtamatta.

Kirsi kertoi esitelmässään tulevien lupamenettelyiden muutoksista ja varsinkin eri lupavaiheiden aineistojen sisällön muutoksista sekä siitä, miten ne on kuvattu tämänhetkisissä luonnoksissa. Todellisen tason ja sisällön näyttävät lopulliset versiot ydinenergiailaista ja STUKin määräyksistä sekä se, miten niitä tulevien vuosien aikana sovelletaan käytännössä. TEM:n rooli muuttuu ja selkeytyy ja STUKin valta kasvaa, mutta luvanhaltijoille ja toimittajille vaatimukset näyttävät osittain jopa vaikeammin hallittavina. Tulee myös kokonaan uusia vaatimuksia ja määritelmiä.

Kokonaisuutena on selvää, että ydin- ja säteilyturvallisuuden taso uusissa ja nykyisissä ydinlaitoksissa säilyy uudistuksen myötä erinomaisena. Toisaalta käytännön tekeminen hankkeissa ja projekteis-

sa ei näyttäisi helpottuvan luvanhakijoiden tai laitostoimittajien osalta merkittävästi. Periaatepäätöksen hakeminen helpottuu, mikä sinänsä ensisijaisesti johtuu siitä, että aiemmin periaatepäätösvaiheessa olleita asioita on siirretty eteenpäin.

Asioita ei juurikaan jää pois, vaan osa siirtyy myöhempisiin vaiheisiin ja niitä pakeoidaan uudella tavalla, jolloin myös riskit siirtyvät. Tosin on järkevää tehdä silti asioita ennakkoon näiden riskien minimoimiseksi, jolloin muutos nykyiseen tekemiseen ei ole niin suuri. SMR-hankkeiden osalta vaatimukset eivät näyttäisi helposti skaalautuvan turvallisuusmerkityksen mukaan, mikä voi johtaa erillisiin määräysten poikkeamatarvemenettelyihin tai joissain tapauksissa tarkoituksettoman vaativiin menettelytapoihin.

TALLINNAAN PÄÄSTYÄ

Tallinnassa risteilijöitä odotti rentouttava kylpylähotelli ja illalla kuultiin yhden Fermi Energian perustajajäsenen Henri Ormusin ja toimitusketjupäällikön Anu Koppelin esitelmä Fermi Energian ja Viron ydinenergian tilanteesta. Esitelmässä nousi ilmi viime vuosien aktiivinen ja suunnitelmallinen Viron ja Fermi Energian ydinenergia-alan viestintä, jossa he ovat panostaneet siihen, että ihmiset ymmärtäisivät ydinvoimaa arjen, koulutuksen ja konkreettisten kokemusten kautta.

Työhön on kuulunut muun muassa vierailumatkojen järjestämistä Olkiluotoon, kouluyhteistyötä, rahoitusten myöntämistä, aihetta käsittelevän kirjan julkaisu sekä vierailijoille avoimen Atomihuoneen perustaminen, jossa kävijöille kerrotaan avoimesti ja vuorovaikutteisesti ydinvoimasta. Tämä pitkäjänteinen ja ihmisläheinen

työ on näkynyt selvästi asennemittauksissa, sillä nykyään jopa 71 % virolaisista suhtautuu myönteisesti ydinvoimaan ja SMR:t olivat viimeisimmässä kyselyssä jopa suosituin energiamuoto Virossa. Se osoittaa, että avoin viestintä, läpinäkyvyys ja mahdollisuus nähdä asiat omin silmin voivat muuttaa yleistä mielipidettä merkittävästi.

Fermi Energia kertoi valitsemastaan GE Hitachi Nuclear Energyn kehittämästä kiehusvesireaktorista BWRX-300, jonka käyttöönottoa Virossa tavoitellaan vuodeksi 2035. Loppusijoitukseen on mietitty erilaisia vaihtoehtoja, joista potentiaalinen ehdokas on syväkairareikäloppusijoitus, josta oltiin kuultu esitelmä laivalla. Ennen loppusijoitussuunnitelmien lukkoon lyömistä syväkairareikien tutkimuksesta on saatava enemmän tuloksia, joissa niiden turvallisuus saadaan osoitettua.

Illan päätteeksi kävelimme yhdessä Henri Ormusin kanssa nauttimaan illallista moderniin belgialaiseen ravintolaan Bruxxiin, joka sijaitsee Tallinnassa vanhan kaupungin ja sataman välisellä Rotermanin alueella. Illallisella juhlistettiin naistenpäivää ja jatkettiin mielenkiintoisia keskusteluja päivän aiheista.

Seuraavana päivänä osallistujilla oli vapaa-aikaa seikkailla Tallinnan vanhasakaupungissa, käydä kylpylässä rentoutumassa, tutustua paikalliseen taiteeseen sekä käydä ostoksilla. Paluumatkalla nautimme lounaan lähes tyhjässä laivan buffetissa ja jatkoimme kiinnostavia keskusteluita. Ydinvoima-alan naisten asiantuntijaristeilyn toteutus oli niin onnistunut, että osallistujat toivoivat tästä tulevaa WiN-perinnettä. Katsotaan, mihin laiva vie ensi vuonna samoihin aikoihin! 🌸

KRAKEN-TYÖPAJA PHYSOR 2026 -KONFERENSSISSA

VTT:llä kehitetty Serpent-ohjelmisto on kansainvälisesti tunnettu, mutta hiljattain julkaistu Kraken-reaktorimallinnuslaskentajärjestelmä vielä hakee käyttäjäkuntaansa. Krakenin kehittäjät järjestivät PHYSOR 2026 -reaktorifysiikkakonferenssissa työpajan, jossa esiteltiin kiinnostuneille käyttäjille Krakenin ominaisuuksia.

Teksti: Topias Kähkönen

Kuvat: PHYSOR 2026 -järjestäjät

Konferenssimatkalle lähteminen oli totuttua kevyempää, koska kohdemaassa ei tarvinnut tällä kertaa varautua jetlagista palautumiseen. PHYSOR on kahden vuoden välein järjestettävä kansainvälinen tieteellinen reaktorifysiikkakonferenssi, joka järjestettiin tänä vuonna 19.-23.4. Italian Torinossa Yhdysvaltojen sijaan, mikä oli eurooppalaisesta näkökulmasta tervetullutta vaihtelua.

Osakseen helpon saavutettavuuden vuoksi VTT:ltä osallistui reilu joukko tutkijoita konferenssiin, mutta pääroolissa oli Kraken-laskentajärjestelmän työpajan järjestäminen. Työpajan lisäksi VTT:llä oli nel-



DI Topias Kähkönen

Research Scientist
VTT

topias.kahkonen@vtt.fi

jä esitystä konferenssin teknisten osuuk-
sien aikana.

PHYSOR 2026

Konferenssi järjestettiin sunnuntaista torstaihin Torinon Lingotto-konferenssikeskuksessa, joka sijaitsee entisessä 1920-luvulla rakennetussa FIATin tehtaassa. Rakennuksen koosta ja luovasta käytöstä kertoo se, että konferenssikeskuksen lisäksi samasta rakennuksesta löytyy kaupakeskus sekä hotelli. Rakennus on myös tunnettu katolla sijaitsevasta autojen testausradasta, jonne nykyään pääsee pääsylippua vastaan katsomaan taidetta taikka juoksemaan. Työpajat järjestettiin erikseen Newcleon pääkonttorilla.

Sunnuntain ohjelmassa oli työpajat ja maanantaina järjestettiin virallinen avaustilaisuus, jota seurasi tekniset osiot. Teknisiä sessioita oli yhteensä 80, joissa kussakin oli tyypillisesti kuusi esitystä. Sessioita oli rinnakkain kahdeksan kerrallaan, joista piti valita omaan ohjelmaan kiinnostavimmat esitykset. Teknistä ohjelmaa oli aamukahdeksasta iltakuuteen, minkä lisäksi tiistaina oli posterisessio ja keskiviikkona päätösillallinen. Torstaina ohjelmassa oli enää päätöspäätösillallinen ja lopetuseraatio.

Osallistujia oli enemmän kuin järjestäjät olivat odottaneet edes heidän optimistisimmassa arviossaan. Keskiviikkona konferenssiin rekisteröityneitä oli yhteensä 655, joista 310 oli yliopistoista, 157 tut-

kimuskeskuksista, 168 teollisuudesta tai yrityksistä ja 20 muista kansainvälisistä organisaatioista. Osallistujista 56 % oli Euroopasta, 27 % Amerikasta ja 17 % Aasiasta. Suurimpia osallistujamaita olivat Yhdysvallat, Italia, Ranska ja Kiina.

VTT:N REAKTORI-MALLINNUSOHJELMAT

VTT:llä on kehitetty omaa laskentaosaamista ja omia mallinnustyökaluja ydinvoimalaitosten riippumattomiin turvallisuusanalyysiin jo Suomen ensimmäisten ydinvoimalaitosten rakentamisesta alkaen. Omien koodien kehitystä jatketaan edelleen ja se on keskeisessä osassa tutkimuksessa, osaamisen kehittämisessä ja uusien asiantuntijoiden kouluttamisessa.

Kraken-laskentajärjestelmän kehitys aloitettiin 2017, kun vuosikymmeniä käytössä olleiden ohjelmien todettiin olevan modernisoinnin tarpeessa erityisesti uusia reaktoritekologioita ajatellen. Kraken suunniteltiin ohjelmistokokonaisuudeksi, jossa kukin ohjelma vastaa yhdestä reaktorin ratkaistavasta fysiikan osa-alueesta, kuten neutronien kulkeutumisesta, lämmön siirtymisestä tai jäähdytteen virtaamisesta. Ratkaisijoiden kytkentä toteutettiin keskeisen multifysiikkakomponentin Cerberuksen kautta, mikä mahdollistaa tiedonsiirron ohjelmien välillä ilman että niiden tarvitsee kommunikoida keskenään.

Vaikka kytkentätapa ei välttämättä ole hienostunein tapa ratkoa ydinreaktorin multifysiikkaongelmaa, sen keskeisin hyöty on ratkaisijoiden riippumattomuus ja vaihdannaisuus. Käyttäjä pystyy tarvittaessa tekemään saman analyysin käyttäen tarkempia ratkaisijoita ja näin varmistamaan karkeampien mallien tulokset. Tapa myös mahdollisti VTT:llä kehitettyjen modernien ratkaisijoiden Serpentin ja FINIXin hyödyntämisen Krakenissa ilman merkittäviä muutoksia lähdekoodiin.

Esimerkkinä ratkaisijoiden vaihdannaisuudesta ovat neutroniikkaratkaisijat Serpent ja Ants. Serpent on vuodesta 2004 asti kehitetty kansainvälistä tunnustusta saanut Monte Carlo -hiukkaskuljetusmenetelmään perustuva ohjelma. Monte Carlo -menetelmä on tarkka ja sopii useaan tarkoitukseen, mutta kytkettyyn reaktorimallinnukseen se on usein laskennallisesti liian raskas, vaikka käytössä olisi modernia suurteholaskentakapasiteettia.

Nopeampaa neutroniikkaratkaisua vaativiin sovelluksiin Krakenissa on diffuusiomenetelmään perustuva Ants, joka on korvannut aiemmin käytössä olleet koodit HEXBU-3D:n, HEXTRANin ja TRAB3D:n.



Työpajan esitysvuorot oli jaettu Krakenin kehittäjien kesken. Kuvassa meneillään Cetus-reaktorisimulaattorin esittely.

Käytännössä kytketyt reaktorianalyysit lasketaan Antsilla, jonka tulokset voidaan tarvittaessa varmentaa toistamalla analyysi Serpentillä pitäen muut ratkaisijat samana.

TYÖPAJAN KULKU

Konferenssissa Serpent tulee vastaan mitä erilaisemmissa sovelluksissa, ja esitysten kallisarvoista aikaa harvoin käytetään Serpentin esittelyyn, koska se on kansainväliselle yleisölle entuudestaan tuttu. Kraken toisaalta on ollut saatavilla VTT:n ulkopuolisille käyttäjille vasta kahden vuoden ajan, joten ohjelmiston ladanneita on merkittävästi vähemmän. Työpaja suunniteltiin juuri tästä näkökulmasta. Suurimman osan osallistujista arvioitiin olevan Serpent-käyttäjiä, mutta kokemusta Krakenista ei välttämättä ole.

Työpajassa esiteltiin Kraken-ohjelmistopakettien sisältö sekä ohjelmiston valittuja ominaisuuksia ja ratkaisijoita tarkemmin. Työpajaan osallistujia oli yhteensä viisitoista ja enempää paikkoja ei tilarajoituksen vuoksi ollut saatavilla. Kysymysten ja keskustelun perusteella oletus osallistujien taustasta ja motivaatiosta osuivat pääasiassa kohdalleen. Alkuperäisessä suunnitelmassa arvio kysymysten ja kes-

kustelun määrästä oli pessimistisempi, mikä aiheutti haasteita aikataulussa pysymisessä, mutta elävä keskustelu ja kiinnostus Krakenia kohtaan olivat tervetulleita ohjelmiston kehittäjien näkökulmasta.

Esityksissä pureuduttiin tarkemmin Antsiin sekä kuinka Krakenilla lasketaan tarvittavat lähtötiedot Ants-mallille. Työpajassa myös esiteltiin reaktorin käyttöjakson suunnitteluun ja analysointiin kehitetty ohjelma Cetus sekä kytkentämahdollisuus laitostason malleihin kuten Aprosiin. Työpajan päätti uuden, osaksi Krakenia toteutetun Serpent-geometrian visualisointityökalun demonstraatio.

KRAKENIN KEHITYS JA TULEVAT TYÖPAJAT

PHYSORin työpaja valmisteltiin osana SAFER2028:n SYSL-projektia ja tulevat työpajat pyritään järjestämään SAFERin ja sitä seuraavien tutkimusohjelmien puitteissa. Krakenin uusimman koodiversioiden julkaisuväli on kaksi kertaa vuodessa, mikä yhteydessä järjestetään kaikille käyttäjille suunnattu työpaja. Tämän kevään työpaja pidettiin konferenssin yhteydessä, mutta

syksyn työpaja tullaan järjestämään VTT:llä hybriditoteutuksena.

Krakenin ja Serpentin kehitystä ovat mahdollistaneet kansalliset sekä kansainväliset tutkimusohjelmat. Rahoituksella on luotu uutta osaamista, asiantuntijoita ja kansainvälisesti tunnustettua menetelmäkehitystä. Kraken oli myös keskeisessä osassa suomalaisen matalan lämpötilan ja paineen LDR-50-kaukolämpöreaktorin esikonseptivaiheen suunnittelussa.


Ensimmäisten vuosien aikana Kraken on pystynyt lunastamaan monet kunnianhimoiset tavoitteet, mutta kehitys- ja validointityötä riittää edelleen. Serpentille kansainvälinen käyttäjäkunta on ollut ensiarvoisen tärkeä osa ohjelman luotettavuuden parantamisessa ja validoinnissa. Juuri tästä syystä Kraken laitettiin saataville suhteellisen varhaisessa vaiheessa, jotta kehityksessä voidaan hyötyä käyttäjyhteisön palautteesta ja kokemuksista.

Yhä merkittävämpi osa Krakenin ja Serpentin kehitystä myös jää tutkimuksen näkökulmasta kiinnostavan menetelmäkehityksen ulkopuolelle. Tutoriaalit, dokumentaatio, käyttöjäoppaat sekä laatu prosessit ovat sellaisia, joista ei välttämättä kirjoiteta tieteellisiä julkaisuja, mutta

ne ovat keskeisessä osassa luotettavassa ja laadukkaassa analyysissä. Työpajat osaltaan pyrkivät luomaan ohjeistusta Krakenin käyttöön ja lisäämään vuorovaikutusta käyttäjien ja kehittäjien välillä.

KRAKENIN LONKEROT KUROUTUVAT LAAJEMMALLE

PHYSOR 2026 -konferenssin yhteydessä järjestetty työpaja oli yksi askel Krakenin lonkeroiden ulottamisesta kansainväliin reaktorifysikkopiireihin. Kyseessä oli sarjassaan toinen konferensseissa järjestetty työpaja, sillä ensimmäinen Kraken-työpaja järjestettiin vuonna 2024 San Franciscossa. Samaa on odotettavissa myös kahden vuoden päästä, mutta sitä ennen Krakeniin on mahdollista tutustua VTT:llä järjestettävissä työpajoissa.

Artikkelin kirjoittajan osallistumisen konferenssiin mahdollisti SAFER2028-tutkimusohjelman alla toimiva DENSE-tohtorikoulutusverkosto. 

Työpajan järjestäjät vasemmalta oikealle: Rebekka Komu, Topias Kähkönen, Antti Rintala, Jaakko Leppänen, Miiko Pöyhönen ja Riku Tuominen.



YG EDUSTAMASSA CCM1:SSA PRAHASSA

ENS YGN (European Nuclear Society Young Generation Network) järjestää kolmesti vuodessa CCM-kokouksia (Core Committee Meeting) eri puolilla Eurooppaa. Näihin kokouksiin ovat tervetulleita kunkin maan YG:n (Young Generation) edustajat, ja tarkoituksena on kokousasioiden lisäksi tutustua isäntämaan ydinenergiateollisuuteen ja -tutkimukseen sekä verkostoitua eri YG-organisaatioiden välillä.

Teksti: Jenna Järvenpää ja Alekski Kaksonen

Vuoden ensimmäinen CCM-kokous järjestettiin 20.-22.2.2026 keväturingon valaisemassa Prahassa, Tšekissä. ATS YG:stä paikalla olivat edustamassa Jenna Järvenpää VTT:ltä ja Alekski Kaksonen TVO:lta. Tapahtuma alkoi teknisillä vierailuilla UJV Řežiin sekä Tšekin teknilliseen yliopistoon. Päivän aikana tutustuimme neljään eri tutkimusreaktoriin (LVR-15, LR-0, VR-1 ja VR-2) ja illalla paikallisiin tarjoiluihin. Seuraavana päivänä ENS YGN piti varsinaisen kokouksen, jossa kunkin maa esitteli toimintaansa muille. Vaikka ATS YG:n toiminta on aktiivista ja monipuolista,

meillä on silti opittavaa esimerkiksi espanjalaisilta!

TEKNISET VIERAILUT TUTKIMUSREAKTOREILLE

Teknisillä vierailuilla jakauduimme kummassakin kohteessa kahteen pienryhmään. Aloitimme junamatkalla tutkimuskeskus UJV Řežiin, jossa pääsimme tutustumaan moduuleina rakennettuihin ja vaihdettaviin kuumakammioihin, materiaalitutkimukseen, valvomoon, kahteen tutkimusreaktoriin sekä erilaisiin tutkimustiloihin. Kuumakammioissa käsitellään esimerk-

si samalla paikalla sijaitsevassa LVR-15-reaktorissa säteilytettyjä kiinteitä näytekappaleita. Toisessa alueella sijaitsevassa LR-0-reaktorissa pystytään mallintamaan esimerkiksi VVER-tyyppisen reaktorin sydämelle lähes mikä tahansa tehoreaktorikonfiguraatio neutronifysikaalisten ominaisuuksien todentamiseksi.

Řežin jälkeen nautittiin kiireellä bussiasemalla lounas ja hypättiin bussilla kohti Tšekin teknillistä yliopistoa, jossa pääsimme tutustumaan päivän toisiin tutkimusreakteihin, käymään valvomossa, ja kuulemaan kuinka kalliiksi yliopistolle tuli hankkia ilmaiset uraanipolttoaineet Aalto-yliopistosta vajaa 10 vuotta sitten. Näimme VR-1- ja VR-2-reaktorit aivan lähietäisyydeltä ja kuulumme niiden käytöstä. VR-1-reaktorilla esimerkiksi opiskelijat pääsevät laskemaan itse sydänkonfiguraation ja toteuttamaan sen käytännössä itse reaktorilla.

Illalla menimme kantakaupunkiin tšekkiläiseen ravintolaan, jossa juomana oli paikallinen olut isoissa tuopeissa eikä alkoholittomia tuotteita ollut saatavilla kokista ja vettä lukuun ottamatta. Paikallisen YG:n kannustamana kokeilimme erinomaista pikkelöityä valkohomejuustoa (nakládaný hermelín), pehmeää perunaleipää, pitkään haudutettua lihakastiketta (svíčková) ja gulassia. Salaatinvihreä oli harvinaisempi näky tarjoiluissa.

KIINNOSTAVAT TUTKIMUSREAKTORIT

UJV Řežin LVR-15 on Tšekin vanhin ja suurin tutkimusreaktori. Se on allastyypinen reaktori, jonka suurin lämpöteho on 10 megawattia. Reaktori on kevytvesijäähdytteinen ja -moderoitu ja sen toiminta alkoi jo vuonna 1957. Sen ensisijainen tekninen tehtävä on tuottaa voimakas neutronivuo materiaalitutkimusta, lääketieteellistä isotooppituotantoa ja tieteellisiä kokeita varten. Reaktori ei tuota sähköä.¹

Reaktorin sydän hyödyntää matalasti rikastettua uraanipolttoainetta, ja sen muokattava rakenne mahdollistaa neutronivuon tiheyden optimoinnin eri käyttötarpeisiin. Korkean neutronivuon ansiosta laitteistolla voidaan simuloida ydinvoimaloiden olosuhteita ydinmateriaalien kestävyden testaamiseksi. Tämän reaktorin merkitys on kasvanut vuosien mittaan, kun muita eurooppalaisia tutkimusreakteoreita on poistettu käytöstä.

LR-0-tutkimusreaktori taas on kevytvesijäähdytteinen, nollatehoinen allasreaktori (max. lämpöteho on 5 kW). Se toimii koereaktorina, jolla mitataan VVER-tyyppisten painevesireaktoreiden neutronifysikaalisia



DI, FM Jenna Järvenpää
Tutkija / Research Scientist
VTT
jenna.jarvenpaa@vtt.fi



DI Alekski Kaksonen
Käyttöturvallisuusinsinööri /
Nuclear Safety Engineer
Teollisuuden Voima
aleksi.kaksonen@tvo.fi



Kuva: ENS YGN



Kuva: Jenna Järvenpää



Kuva: Aleksi Kaksosen



Kuva: Jenna Järvenpää



Kuva: ENS YGN



Pienryhmä Tšekin vanhimman tutkimusreaktorin LVR-15:n päällä (kuva: ENS YGN).

ominaisuuksia. Laitos tarjoaa tieteellisen ja teknologisen ympäristön kokeille, jotka liittyvät kevytvesireaktoreiden sydämen fysiikkaan ja säteilysuojaukseen.²

Tšekin teknillisen yliopiston VR-1 on nollatehoreaktori, jonka nimellisteho on 100 wattia ja lyhytaikainen enimmäisteho 500 wattia. Alhaisen tehotason vuoksi reaktori ei vaadi monimutkaisia jäähdytysjärjestelmiä, vaan syntyvä lämpö poistuu luonnollisen kierron avulla. Reaktoriin on kuitenkin asennettu kiertopumppu, jotta polttoaineen pintaan ei muodostu kerrostumia. Laitos on suunniteltu nimenomaan tutkimus- ja koulutuskäyttöön, eikä sekään tuota sähköenergiaa.³

Reaktorissa käytetään matalasti rikastettua, alumiinilla suojattua uraanipolttoainetta, joka on jäähdytetty ja moderoitu kevyellä vedellä. Rakenteellinen saavutettavuus on optimoitu kokeellista tutkimusta ja opetusdemonstraatioita varten. Reaktorin turvallisuus perustuu useisiin tehomittauksiin, joissa on redundanssia. Reaktorin turvallinen pysäytys tapahtuu automaattisilla säätösauvoilla, jotka puoltavat turvasignaalin lauetessa painovoiman avulla paikalleen. Koko reaktori on sijoitettu paksujen vesi- ja betonisuojarakenteiden sisään, minkä ansiosta sitä voidaan käyttää turvallisesti myös silloin, kun ihmisiä on reaktorin ympärillä.

Tšekin teknillisen yliopiston VR-2-reaktori on tyypiltään alikriittinen kokoonpano, jossa moderaattorina käytetään kevyttä vettä. Se ei kykene ylläpitämään fissioreaktiota ilman ulkoista neutronilähdettä. Jos ulkoinen neutronien syöttö katkaistaan, fissio lakkaa. Tämän vuoksi reaktorin käyttö on helpommin lähestyttävää ja turvallisempaa, ja sen suunnitteluparametrit ovat huomattavasti vähemmän vaativat.

Tšekin teknillinen yliopisto lanseerasi VR-2-projektin vuonna 2014 ja sai rakennusluvan vuonna 2022. Alikriittinen VR-2-reaktori on sijoitettuna samaan reaktorihalliin kuin VR-1, joka on ollut käytössä vuodesta 1990 lähtien. VR-2-reaktori käyttää polttoaineenaan rikastettua uraania



Tšekin teknillisellä yliopistolla pääsimme ryhmäkuvan lisäksi takanamme olevaan valvomoon, josta reaktorin toimintaa ohjataan. Juuri tänne Aalto-yliopistosta ja LUT-yliopistosta pääsee vuosittain opiskelijoita oppimaan reaktorifysiikkaa (kuva: ENS YGN).

(UO₂, 10 % U-235) sekä metallisessa muodossa olevaa luonnonuraania, joilla on suomalainen alkuperä.

Suomen ensimmäisen reaktorin, alkriittisen miilun uraanit nimittäin lahjoitettiin Tšekin teknilliselle yliopistolle vuonna 2018. Uraanit olivat Aalto-yliopiston hallussa ja säilytettynä FIR 1 -tutkimusreaktorin tiloissa. Nämä uraanit tulivat VR-2-reaktorin käyttöön reaktorin käynnistyttyä 2023. "Ilmaisen" polttoaineen luvutukset ja kuljetukset tekivät siitä kalliin investoinnin yliopistolle.^{4,5}

CCM1-KOKOUKSEN ANTIA

Lauantaina 21.2. oli varsinaisen CCM1-kokouksen vuoro Tšekin teknillisen yliopiston tiloissa vanhan kaupungin kupeessa. Jokaisen tuli ensimmäisen puheenvuoronsa aluksi kertoa lempivoileipänsä tai pahimman voileivän, jonka oli ikinä syönyt. Voileipämielitykset vaihtelivatkin kala-avokado-toastista harvinaisempaan maitoon kastettuun sämpylään. Paikalla oli 50 osallistujaa 16 eri maasta, jopa Ukrainan YG:kin edustettuna. CCM-kokouksia on järjestetty eri formaateissa jo vuodesta 2000.

ENS YGN:n johtokunta kertoi kokouksen aluksi toiminnastaan ja aloitteistaan. ENS YGN oli aloittanut muun muassa tiedotteiden lähettämisen sähköpostitse sen tilanneille, #MeetTheBoard-kampanjan, jossa johtokunta esitellään sosiaalisessa mediassa yksi kerrallaan, sekä (Nuclear) Science in the Streets -ohjelman kannustamaan paikallisia YG-osastoja tuomaan tiedettä esille. Kasvava YG- ja ENS YGN-toiminta tarvitsee tuekseen toimivia rakenteita, kuten yhteisen strategian ja ohjeistuksen (manifestin), joita ENS YGN johtokunta alustavasti esitteli. Manifestin tarkoituksena olisi toimia ohjenuorana henkilöille, jotka edustaisivat ENS YGN:n ääntä sidosryhmätilaisuuksissa eri maissa.

ENS YGN:n tärkeimpänä tavoitteena on toimia nuorten ydinenergia-alan ammattilaisten äänenä ja osallistua aktiivisesti EU-tason tapahtumiin, ylläpitää hyviä suhteita esimerkiksi ENS:ään, ENEN:iin (European Nuclear Education Network), EC-JRC:en ja WiN:iin, järjestää CCM-kokouksia yhdessä paikallisen YG:n kanssa, tukea paikallista YG:tä ENYGF-tapahtuman (European Nuclear Young Generation Forum) järjestämisessä sekä tukea I4N-Europe (Innovation for Nuclear) innovaatiokilpailujen järjestämisessä. ATS YG ei vielä ole järjestänyt näitä I4N-kilpailuja paikallistalalla Suomessa.

Kokouksessa käytiin läpi myös ENS YGN:n budjettia, ENYGF-apurahoja, budjettisuunnitelmaa, sekä alajaostojen toimin-

taa viestinnästä digitaalisiin alustoihin ja tulevien tapahtumien järjestämiseen, kuten isoimpina IYNC2026 (International Youth Nuclear Congress) Avignonissa, Etelä-Ranskassa ja ENYGF2027 Roomassa, Italiassa. Näihin kumpaankin nuorille ydinenergia-alan ammattilaisille sekä etenkin alan opiskelijoille suunnattuun tapahtumaan voi hakea osallistujaksi ja niihin usein kaivataan esityksiä, abstrakteja, postereita sekä workshopin pitäjiä. Ainakin ENYGF2027-tapahtumaan osallistumiseen voi hakea apurahoja tapahtuman nettisivuilta. IYNC2026:n osana järjestetään vuoden 2026 viimeinen CCM3 ja ENYGF2027:n osana CCM2, joihin Suomesta voi kumpaankin osallistua enintään kolme edustajaa.

Kokouksessa myös ENS YGN:n tärkeimmät sidosryhmät, kuten ENS (European Nuclear Society), N4C (Nuclear for Climate) ja EC-JRC (European Commission Joint Research Centre) esitetytyivät. ENS esimerkiksi järjestää useita ydinenergia-alan kohdennettuja konferensseja ja tapahtumia, esimerkiksi ydinalan viestintään ja kommunikaatioon painottuvan PIME:n sekä ydinenergiaa ja muuhun ydinteknologiaan liittyvään koulutuksen ja osaamisen kehittämiseen painottuvaa NESTet-foorumia. Tiesitkö esimerkiksi, että ENS:n kautta voit ATS:n jäsenenä saada mandaatin osallistua IAEA:n konferensseihin tai tilaisuuksiin? Ja tiesitkö, että N4C-tiimi etsii joka vuosi vapaaehtoisia toimimaan ilmaston ja maapallon hyväksi?

Näiden lisäksi myös WiN Global YG (Women in Nuclear) ja UN YG (United Nations) esittäytyivät päivän aikana. Aamupäivän esitysten jälkeen kukin YG pääsi esittelemään maansa ja YG:nsä kuulumiset. Esitysjärjestys oli kasvava sen suhteen, kuinka paljon kukin maa maksaa OECD:n mukaan vanhempainvaaviikkoja 100 % palkalla. Suomi oli 11., kun taas Ruotsi oli sijalla 8. ja Serbia sijalla 12. Unkari piti viimeisenä esityksensä (sijalla 17.), sillä heillä oli eniten 100 % palkalla maksettuja vanhempainvaaviikkoja. Jokainen osallistuja pääsi arvioimaan kunkin esityksen digitaalisella alustalla ja lopuksi katsottiin yhteenvetona arviot.



Aleksi Kaksonen ja Jenna Järvenpää esittelivät kansainvälisille osallistujille ATS YG:n päätapahtumia, Summer Symposiumia, laivaseminaareja sekä ulkomaan ekskursionia (kuva: Jenna Järvenpää).

SUOMELTA ENS YGN:LLE JA MUILLE

Suomen esityksessä kerroimme läsnä- ja etäosallistujille ATS YG:n edustajistosta, jossa on tällä hetkellä opiskelijaedustajat kuudesta eri yliopistosta (Aalto-yliopisto, LUT-yliopisto, Helsingin yliopisto, Oulun yliopisto, Jyväskylän yliopisto sekä Tampereen yliopisto) ja yhdeksästä eri ATS:n kannatusjäsenyryksestä (VTT, TVO, Fortum, Steady Energy, AFRY, Platom, Posiva, Konecranes ja STUK). ATS YG:llä on noin 200 jäsentä ja sen ikäraja on 38 vuotta.

YG järjestää vuosittain sekä ilmaisia että osallistujamaksullisia tapahtumia seminaareista kesätyöinfoihin ja vuorovuosina laivaseminaariin ja ulkomaan ekskursion. Joka vuosi eri ATS:n kannatusjäsen myös järjestää vuoden suurimman tapahtuman, Summer Symposiumin, eri puolella Suomea. Tänä vuonna TVO toteuttaa tämän mahtavan tapahtuman Nakkilassa, Satakunnan sydämessä. Tänä vuonna merkittävimpänä ATS YG:n järjestämänä toimintana on ekskursion ulkomaille. ATS YG:n ekskursion kohteeksi vahvistui tämän esityksen jälkeen ITER ja CERN, joihin mennään elo-syyskuus-

sa. Vaativattomasti myös esitimme, että Suomen ATS YG on kuin perhe, jossa jokainen tuntee toisensa nimeltä.

Esityksessämme toimme esille Suomen ydinenergiain uudistuksen, joka mahdollistaa SMR:ien (small modular reactor) modulaarisen tuotannon ja sujuvoittaa lisensiointiprosessia. TVO oli helmikuuhun mennessä hyväksynyt Olkiluoto 3:n lopullisesti vastaanotetuksi ja STUK oli hyväksynyt Posivan kuparikapselin rakenteellisen suunnittelun loppusijoitusta varten.

Kevään uutisia olivat myös Helenistä spinnannut Helen Ydinvoima Oy, joka tähtää SMR:ien käyttöönottoon Helsingissä sekä Fortumin investointi Steady Energyyn ja yhteistyön lujittaminen. Lyhyessä esitysajassa ehdimme kertoa myös VTT:n saamasta valtionrahoituksesta, jolla tuetaan tänäkin vuonna tutkimusta, joka tukee SMR:ien käyttöönottoa Suomessa. Tutkimus kohdistuu muun muassa ydinreaktoreita mallintavien ohjelmistojen kehitykseen, SMR:ien materiaali- ja rakennekysymyksiin sekä Altyökalujen käyttöön. Mainitsimme myös kansallisen SAFER2028-tutkimusohjelman ja ainoan suomalaisen SMR-konseptin, LDR-50-kaukolämpöreaktorin, jota VTT:n spinoff-yritys Steady Energy vie kaupallisesti eteenpäin.

TÄRKEIMMÄT ANNIT YG:LLE JA ATS:LLE

Varsinainen kokouspäivä oli pitkä, mutta antoisa. ATS YG:lle uusia ideoita tuli muun muassa osallistua ja järjestää jatkossa paikallistason I4N-innovaatiokilpailu Suomessa jonakin vuonna. Maiden parhaat kilpailujoukkueet pääsevät finaaliin Eurooppaan ja voittajajoukkueelle on luvassa mainetta, kunniaa ja erikoispalkinto. Kunkin maanosan voittajat pääsevät myös IYNC-konferenssiin esittelemään innovaatiotaan tai ratkaisuaan. IYNC tarjoaa näille joukkueille muun muassa matka-avustusta.

Kiinnostavia esityksiä tarjosivat muun muassa Ukraina, josta paikallisen YG:n puheenjohtaja oli päässyt Prahaan paikalle. Ukraina järjestää yhä tieteellisiä konferensseja, seminaareja, kilpailuja sekä epämuodollisia tilaisuuksia tiedonjakamista ja -vaihtoa varten sodasta huolimatta. He ovat panostamassa viestintään ja avaamalla esimerkiksi oman TikTok-kanavan.

Erilaisia ydinenergiaan liittyviä kilpailuja järjestävät Belgia ja Ranska. Webinaareja tai webinaarisarjoja tarjoavat esimerkiksi ENS ja Italian YG, kun taas Espanja järjestää yliopistoille seminaareja ja kursseja, sadoille kouluille puheita ja workshoppeja sekä isoja tuhansien osallistujien tiedetapahtumia ympäri maata huolimatta siitä, että maassa suljetaan ydinvoimalaitoksia. Unkarissa taas osallistutaan erilaisille festivaaleille ja pidetään High School Road Show, jossa kuljetaan lukiosta toiseen kertomassa ydinenergiasta.

Mielenkiintoista oli myös kuulla, että useammalle maalle oli tärkeää joko tehdä itse (Espanja ja Serbia) tai käännettä (Puola) omalle kielelle lastenkirjoja, jotka liittyvät ydinenergiaan tai -teknologiaan. Tällaisesta mittavasta ja kattavasta nuorelle yleisölle suunnatusta tiedeviestinnästä on vielä ATS:llä paljon opittavaa. Olisiko suomenkieliselle ydinenergiasta kertovalle lastenkirjallekin tarvetta? Ja miten voisimme saada sekä YG:nä että ATS:nä mahdollisimman paljon irti tästä ENS YGN -yhteistyöstä?

CCM:T OSANA YG:N KANSAINVÄLISTÄ TOIMINTAA

CCM-kokoukset ovat tärkeitä ydinvoima-alan nuorille opiskelijoille sekä uransa alkuvaiheessa oleville ammattilaisille. Kokouksiin kuuluu tyypillisesti tutustumisen paikallisiin kohteisiin ydinvoimalaitoksista tutkimuslaitoksiin, rento kulttuurikierros paikallisessa kaupungissa, mukavat

illanvietot sekä virallinen osuus ENS YGN:n vetämänä. Virallisessa osuudessa kukin YG esittelee oman maansa toimintaa sekä muutoksia ydinvoima-alalla. Tämä tarjoaa helpon mahdollisuuden oppia muiden maiden YG-toiminnasta ja luoda kansainvälisiä suhteita.

Kokoukset ovat merkittävä osa ATS YG:n kansainvälistä toimintaa sekä verkostoitumista Euroopan YG-osastojen ja ydinenergia-alan järjestöjen välillä. Osa kokouksista järjestetään osana ENYGF-foorumia ja IYNC-konferenssia ja osa itsenäisinä tilaisuuksina, kuten kesäkuussa Edinburgissa järjestettävä CCM2. ATS YG kannustaakin kaikkia näistä kokouksista kiinnostuneita laittamaan matalalla kynnyksellä viestiä YG:n puheenjohtajalle. Usein osallistumaan on päässyt jopa kolme henkilöä per maa ja matkakustannuksiin voi hakea tukea työnantajalta, yrityksiltä, säätiöiltä ja yhdistyksiltä.

Kevään ATS YG:n edustajistossa päätettiin tänä vuonna tukea yhtä osallistujaa pienellä summalla kesäkuun CCM2-kokoukseen, jotta joka kokouksessa olisi aina suomalaisia läsnä ja kertomassa Suomen ydinvoima-alan kuulumisia samalla luoden elämän mittaisia ystävyyssuhteita ympäri Eurooppaa. Tavoitteena on jatkossa laittaa ATS YG:n budjettiin oma pieni momenttinsa tälle edustustoiminnalle ja tarjota mahdollisuus kansainvälistyä yhä useammalle ydinvoima-alan nuorelle.

Lopuksi haluamme kiittää ENS YGN:n johtokuntaa hyvin valmistellusta kokouksesta sekä Tšekin YG:n aktiivisia hahmoja, Ondrej Novakia Tšekin teknillisestä yliopistosta sekä Michal Cihária UJV Řežistä. Sekä Ondrej että Michal pitivät koko viikonlopun huolen, että jokainen YG-edustaja oli oikeassa paikassa oikeaan aikaan ja sai oppia Tšekin ydinvoima-alan tutkimuksesta mahdollisimman paljon. 🌐

1 www.world-nuclear-news.org/Articles/IAEA-sees-enhanced-safety-at-Czech-research-reactor

2 www.cicrr.cz/lr-0-reactor

3 www.reaktor-vr1.cz/en/about-us

4 www.world-nuclear-news.org/Articles/New-Czech-research-reactor-commissioned

5 https://bin.yhdistysavain.fi/1608821/ltw1BArMBv4o4RBhHP0f0cLLi4/ATS%20Ydintekniikka_2-2025.pdf

VUOSIKOKOUS 2026 TIETEIDEN TALOLLA

ATS-vuosikokous järjestettiin keskiviikkona 4.3.2026 tutuksi tulleella Tieteiden talolla Helsingissä. Kokoukseen osallistui 18 jäsentä paikan päällä ja 16 etäyhteyden välityksellä. Kokouksessa käsiteltiin vuoden 2025 toimintaa ja linjattiin käynnissä olevaa juhluvuotta.



Vuosikokouksessa valittu ATS:n uusi johtokunta. Kuvasta puuttuu kolme jäsentä (kuva: Taina Kurki-Suonio).

Teksti: Tommi Lyytinen

Vuosi 2025 osoitti ATS:n toiminnan jatkaneen selkeää kasvua koronavuosiensa jälkeen. Tapahtumat keräsivät yhteensä 928 osallistumista, mikä on noin 20 % enemmän kuin vuonna 2024. Kasvua osittain selittää jo neljättä kertaa järjestetty Suomalaisen Ydintekniikan Päivät (SYP), mutta osallistujamäärä kasvoi vastaavasti myös edelliseen SYP-vuoteen 2022 verrattuna. Kasvua tukivat erityisesti ohjelmaan lisätyt webinaarit sekä hybridimuotoiset jäsentapahtumat, jotka madalsivat osallis-

tumiskynnystä ja mahdollistivat osallistumisen aiempaa laajemmalla alueella.

Vuoden päätapahtuma SYP sai palautekyselyssä hyvän vastaanoton, vaikka nuorten osallistujien määrää ja tieteellisten esitysten osuutta toivottiin lisää. Tapahtuma kokosi noin 150 alan ammattilaista Hanaholmenin kongressikeskukseen Espoossa. Ohjelmassa käsiteltiin muun muassa SMR-reaktoreita, fuusioteknologiaa, ydinjätteen hallintaa sekä turvallisuuskulttuuria. Muita vuoden kohokohtia olivat ekskursio Sotkamoon Terrafamen kaivosalueelle ja Kajaaniin CSC:n LUMI-supertietokoneelle sekä kaksi jäsentapahtumaa Aalto-yliopistolla.

ATS YG järjesti perinteisen Summer Symposiumin Orivedellä (järjestelyvastuussa Platom) sekä muun muassa saunailan, opiskelijainfoja ja pikkujoulut. Women in Nuclear Finland (WiN Finland) jatkoi aktiivista toimintaansa panostamalla viestintään ja osallistumalla kansainvälisiin foorumeihin, kuten WiN Globaliin ja European Nuclear Energy Forumiin. Uutena avauksena järjestettiin kaikille avoin, paljon kiinnostusta herättänyt SYP:n rinnakkais tapahtuma, jossa tarkasteltiin pienydinvoiman vaikutuksia kuluttajille ja

asukkaille. ATS Seniorit järjestivät tuttuun tapaan lounastapaamisia, pikkujoulut sekä vierailun LUT-yliopistoon.

KOKOUKSEN KULKU

Seuran edellinen puheenjohtaja Markus Airila valittiin kokouksen puheenjohtajaksi. Hänen johdolla käsiteltiin vuoden 2025 toimintakertomus ja tilinpäätös, päätettiin tili- ja vastuuvapauden myöntämisestä edelliselle johtokunnalle sekä valittiin uusi johtokunta. Lisäksi kokouksessa hyväksyttiin vuoden 2026 toimintasuunnitelma ja talousarvio.

Seuran puheenjohtaja Hanna Tynys esitteli toimintakertomuksen, jossa kuvattiin edellä esitettyä toiminnan kasvua ja monipuolistumista. Toimintakertomus hyväksyttiin ilman keskustelua, ja kokouksen puheenjohtaja kiitti johtokuntaa aktiivisesta ja tuloksellisesta työstä.

Seuran taloudellinen tilanne todettiin vakaaksi, ja varat vastaavat noin kahden vuoden jäsenmaksutuottoa. Rahastonhoitaja Topi Tupasela esitteli tilinpäätöksen, jossa todettiin kulujen kasvaneen muun muassa ATS Ydintekniikka-lehden ja WiN-toiminnan osalta. SYP oli



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



Erkki Laurila -palkinnon saajat Jussi Heinonen ja Tomi Routamo kuvan keskellä seuran sihteerin ja väistyvän puheenjohtajan onniteltavina (kuva: Taina Kurki-Suonio).

vuoden suurin yksittäinen kuluerä, mutta tapahtuma oli taloudellisesti onnistunut ja tuotti ylijäämää. Samalla todettiin, että tulevien SYP-tapahtumien kustannuksiin varaudutaan etukäteen taseeseen tehtävillä varauksilla. Jäsenmaksut päätettiin pitää ennallaan kustannuspaineista huolimatta.

Kokouksessa kuultiin myös toiminnan tarkastajien lausunto, minkä jälkeen tili- ja vastuuvapaus myönnettiin. Markus Airila esitti kiitokset väistyvälle puheenjohtajalle Hanna Tynykselle ansiokkaasta työstä seuran hyväksi.

Kokouksen päätteeksi jaettiin Erkki Laurila -palkinto Jussi Heinosen ja Tomi Routamon (STUK) artikkelista ”Ydinenergiain uudistuksen hyötyjen eteen pitää tehdä työtä”, joka julkaistiin ATS Ydintekniikka -lehdessä 3/2025. Palkinnonjaon jälkeen palkitut pitivät esitelmän artikkelinsa pohjalta. Esityksen pohjalta käytiin vilkas keskustelu muun muassa ydinenergian sääntelystä ja merikäytöstä, ydinenergian käsittelystä sekä turvallisuuskysymyksistä.

UUSI JOHTOKUNTA JA TOIMINTASUUNNITELMA ATS:N 60V-JUHLAVUODELLE

ATS:n johtokuntaan valittiin uusia jäseniä, kun puheenjohtaja Hanna Tynys ja johtokunnan jäsen René Bes eivät olleet käytettävissä uudelle kaudelle. Johtokunnan kokoonpa-

noon valittiin jatkamaan Antti Hakola (VTT), Tommi Lyytinen (VTT), Jaakko Leppänen (VTT), Topi Tupasela (STUK), Jani Huttunen (TVO), Janne Valkonen (Platom) sekä Taina Kurki-Suonio (Aalto-yliopisto). Uusina jäseninä johtokuntaan valittiin Teemu Sällylä (Fortum) ja Pirjo Knuuttila (Steady Energy).

Johtokunnan puheenjohtajaksi valittiin aiemmin varapuheenjohtajana toiminut Antti Hakola. Sihteerinä ja rahastonhoitajana jatkavat edellisen kauden mukaisesti Tommi Lyytinen ja Topi Tupasela.

Vuosi 2026 on seuran 60-vuotisjuhla-vuosi, mikä näkyy vahvasti toiminnan painotuksissa. Seura jatkaa sääntöjensä mukaista tehtäväänsä ydintekniikan alan tuntemuksen edistämiseksi, jäsenten välisenä yhdysiteenä toimimisessa sekä kansainvälisessä tiedonvaihdoissa. Juhlavuonna erityistä huomiota kiinnitetään syysseminaariin sekä sen yhteydessä järjestettävään vuosijuhlaan.

Jäsentapahtumat ja ATS Ydintekniikka -lehden julkaiseminen muodostavat toiminnan ytimen. Tilaisuuksissa painotetaan kasvokkaisia kohtaamisia, mutta osallistumismahdollisuuksia laajennetaan tarjoamalla etäyhteyksiä ja jatkamalla hyväksi havaittuja webinaareja, jotka mahdollistavat osallistumisen myös pääkaupunkiseudun ulkopuolelta.

Toimintaryhmien – Young Generationin (YG), Women in Nuclear Finlandin (WiN Finland) ja ATS-Seniorien – roolia vahvis-

PIRJO KNUUTTILA

Olen tehnyt pitkän uran teollisuuden ja vaativien projektien johtamisjärjestelmien parissa. Valmistuin koneinsinööriksi 1990-luvun alussa ja aloitin urani suunnittelutehtävissä, mistä siirryin laatu- ja prosessijohtamiseen kehittämään organisaatioiden toimintaa yhdessä asiantuntijoiden kanssa.



Perheen kasvaessa halusin panostaa omaan kehittymiseen ja valmistuin tuotantotalouden diplomi-insinööriksi vuonna 2008.

Ydinvoima-alalle päädyin OL3- ja Posivan rakennusprojektien kautta, joissa työskentelin laatutoiminnan kehittämisen ja toimitusketjun valvonnan parissa. Kokemus vei mukanaan ja johdatti syvälle alan erityisvaatimuksiin. Olkiluodosta siirryin Fennovoiman laadunhallintatiimiin, minkä jälkeen piipahdin muissa energiahankkeissa. Viime vuonna palasin ydinenergian laatujohtamisen pariin Steady Energyyn, jossa pääsen luomaan uutta johtamisjärjestelmää yhdessä innovatiivisen tiimin kanssa. Tehtävässäni voin hyödyntää aiempaa kokemustani ja samalla rohkeasti kyseenalaistaa totuttuja toimintatapoja.

Työssä minua motivoi jatkuva parantaminen, monimutkaisten kokonaisuuksien selkeyttäminen sekä yhteistyö eri organisaatioiden asiantuntijoiden kanssa. Vapaa-aikani viettän perheeni, ystävien ja koiran kanssa, viljelen kasviksia ja leivon hapanjuurella.

TEEMU SÄLLYLÄ

Urani ydinvoima-alalla alkoi hieman sattumalta. Olin opiskeluaikoina kesätöissä pienemmässä ohjelmistokehitysfirmassa, kunnes totesin neljännen kesän lähestyessä tarvitseväni diplomityöpaikan omaa pääainettani konetekniikkaa vastaavalta alalta. Lisäksi minua alkoi kiinnostaa nähdä isomman yrityksen toimintaa.



Vastaan osui kuin täydellisesti minulle luotu paikka lujuustekniikan kesäharjoittelijana Fortumilla ydinvoimapuolella, olinhan myös keskittynyt maisterivaiheen opinnoissa lujuustekniikkaan. Matka Keilaniemen konttorillekaan ei ollut paljoo pidempi kuin Otaniemen kampukselle.

Kesätyön jälkeen jatkoin syksyn harjoittelijana, minkä jälkeen aloitin diplomityöni vuodenvaihteessa 2021–2022. Kun sitten kesällä valmistuin, jatkoin samassa ryhmässä lujuustekniikan asiantuntijana, joka on edelleen roolini. Työtehtäviini kuuluvat lujuusteknisten analyysien ja laskelmien tekeminen ja tarkastaminen ja yleisemmin lujuusteknisen tuen tarjoaminen, pääasiassa Loviisan voimalaitokselle.

Luonteeltani olen utelias, kiinnostunut, tekeväinen, hieman ehkä perfektionistinenkin. Pidän uusien asioiden kokeilemisesta ja opettelusta, vaikeiden ongelmien ratkaisemisesta ja itseni haastamisesta. Vapaa-ajalla tulee pyöräiltyä, kehonpainoharjoiteltua ja satunnaisesti ohjelmoitua omia projekteja.

tetaan edelleen. YG:n toiminta jatkaa kasvuaan, ja keskeisiä tapahtumia ovat muun muassa Summer Symposium, ulkomaan ekskursion sekä opiskelijajainfot. ATS-Seniorit jatkavat vakiintuneita lounastapaamisia ja vierailuja, kun taas WiN Finland järjestää monipuolisia verkostoitumis- ja asiantuntijatapahtumia sekä kotimaassa että kansainvälisesti.

Seura jatkaa aktiivista kansainvälistä yhteistyötä European Nuclear Society (ENS) kautta sekä kehittää yhteistyötä muiden teknillisten ja tieteellisten seurojen kanssa. Juhlavuoden keskeisenä tavoitteena on lisätä tapahtumien osallistujamääriä ja vahvistaa jäsenistön aktiivista osallistumista. Toiminnassa panostetaan viestinnän kehittämiseen, tiedon jakamiseen sekä sähköisten kanavien ja sosiaalisen median tehokkaaseen hyödyntämiseen. ATS Ydintekniikka -lehden rooli säilyy keskeisenä, ja juhluvuoden kunniaksi päivitetään ydintekniikan sanasto.

Ulkomaan ekskursion järjestämismahdollisuuksia selvitetään, mutta jäsen-

palautteen perusteella painopiste on siirtymässä kotimaan ja lähialueiden kohteisiin ulkomaanmatkojen kasvaneiden haasteiden vuoksi. WiN Finland järjestää ekskursion lähialueille, ja ATS YG toteuttaa eurooppalaisen ekskursion. Seuraava SYP järjestetään kahden vuoden kuluttua, ja edellisen tapahtuman palautteet huomioidaan jatkovalmistelussa. 🌀

SYVYSSUUNTAINEN PUOLUSTUSHIMMELI

Eräs ydinturvallisuuden kulmakivistä on syvyysuuntaisen puolustuksen käsite. Ajatus on, että ydinturvallisuus varmistetaan usean toisistaan riippumattoman puolustustason avulla, jossa yhden tason pettäminen ei vaaranna muita. Käsite on hyvä turvallisuusfilosofia, mutta sen muuntautuminen suunnitteluvaatimuksiksi on johtanut sekavaan vyyhtiin.

Teksti ja kuvat: Tapani Raunio

Syvyysuuntaisen puolustuksen käsite lienee tullut ydinvoima-alalle sotilasstrategiasta, kun ensimmäisiä reaktoreita kehitettiin Yhdysvaltain laivaston aluksiin. Matka sen nykyiseen sisältöön ja puolustustasojen määrään on kestänyt yli puoli vuosisataa. Yhdysvaltain turvallisuusviranomaisen NRC (Nuclear Regulatory Commission) julkaisi vuonna 2016 historiallisen katsauksen syvyysuuntaisen puolustuksen kehityksestä [1], mihin myös tämän kirjoituksen Yhdysvaltoja koskeva osuus perustuu.

Ensimmäiset maininnat ydinturvallisuuden useasta puolustustasosta löytyvät 1950-luvulta. Vuonna 1957 ilmestyneessä Yhdysvaltain atomienergiakomission WASH 740 -raportissa vaadittiin useam-



DI Tapani Raunio

Pääsuunnittelija, ydinturvallisuus
tapani.raunio@iki.fi

paa puolustustasoa onnettomuuksia vastaan. Puolustustasoja oli kaksi: paineastian eheys ja suojarakennuksen eheys.

Vuosikymmen myöhemmin Yhdysvaltain ydinturvallisuuskomissiolle lähetyksessä kirjeessä on mainittu kolme puolustustasoa, jotka ovat vapaasti muotoiluna erinomainen laatu laitoksen suunnittelussa, rakentamisessa ja käytössä; onnettomuuksien varalle olevat turvallisuusjärjestelmät; sekä onnettomuuksien seuraamuksia rajoittavat järjestelmät.

Seuraavina vuosikymmeninä puolustustasojen lukumäärä ei kasvanut, mutta puolustustasojen tarkempi sisältö vaihteli. Esimerkiksi NRC:n vuosiraportti vuonna 1975 puhuu kolmesta peräkkäisestä ja toisiaan vahvistavasta puolustustasosta. Nämä olivat onnettomuuksien estäminen konservatiivisella suunnittelulla, turvallisuusjärjestelmien sisällyttäminen vikojen estämiseksi tai niiden seuraamusten estämiseen, ja erityiset turvallisuusjärjestelmät suunnitteluperusteisten onnettomuuksien varalta.

NYKYISEN SYVYSPUOLUSTUKSEN SYNTY JA TULO SUOMEEN

Syvyyspuolustuksen tasojen määrän kasvu viiteen ja tasojen ensimmäinen muodollisempi määrittely tehtiin IAEA:n ydinturvallisuusasiantuntijoiden INSAG-ohjausryhmän (International Nuclear Safety Advisory Group) julkaisussa Basic

Safety Principles for Nuclear Power Plants (myöhemmin INSAG-3), joka julkaistiin vuonna 1988 [2]. Tästä kahdeksan vuotta myöhemmin nähtiin ensimmäinen ”moderni” syvyysuuntaisen puolustuksen sommittelu asiakirjassa Defense in Depth in Nuclear Safety (INSAG-10) [3]. Fukushimaa jälkeen nähtiin tarve luoda suunnitteluperustaisten onnettomuuksien ja vakavien onnettomuuksien väliin vielä yksi puolustustaso. Maasta riippuen tämä tehtiin jakamalla joko taso 3 tai 4 kahteen osaan.

INSAG-3-asiakirjassa on muuten pieni Suomi-lisä, sillä sen tekemiseen osallistui eräs A.P. Vuorinen, joka oli silloin myös koko INSAG-ryhmän puheenjohtaja [4]. Kyseinen Antti Vuorinen toimi elämänsä aikana myös pitkään STUKin pääjohtajana.

Mielestäni INSAG-10:n viisikerroksinen sommittelu oli askel väärään suuntaan, mutta viimeistään Fukushimaa jälkeinen yhden tason jakaminen kahtia muunsi toimivan filosofian turvallisuudelle (lievästi) haitalliseksi. Seuraava kyseenalainen askel oli sovitaa syvyysuuntaisen puolustus yhteen moninkertaisuusperiaatteen ja erilaisuusperiaatteen kanssa. Pisteenä :n päällä on vaatimus puolustustasojen riippumattomuudesta, mistä on mahdotonta tehdä täydellistä.

Syvyysuuntaisen puolustus rantaui Suomen ydinenergilakiin 2008, jolloin lakiin lisättiin oma otsikko aiheesta. Sitä ennen syvyysuuntaisen puolustus oli mainittu ainakin STUKin vuonna 2004 julkaisemassa Ydinturvallisuus-kirjassa. Hieman yllättäen syvyysuuntaisen puolustus näyttää päässeensä YVL-ohjeistoon vasta 2013 julkaistun YVL-ohjeen B.1 myötä.

Suomen syvyysuuntaisen puolustuksen viisi päätasoa on nykyisellään määriteltä STUKin määräyksessä Y/1/2018. Näiden lisäksi onnettomuustilanteiden hallinta on jaettu vielä kahteen alatasoon 3a ja 3b. Määräyksessä Y/1/2018 vaaditaan, että ”puolustustasojen on oltava toisistaan niin riippumattomia kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista saavuttaa”. STUKin meneillään olevassa säännöstöuudistuksessa päätasojen määrä on säilymässä, joskin niiden määrittelyjä on hieman muutettu.

SYVYSSUUNTAISEN PUOLUSTUKSEN HEIKKOUEDET

Syvyysuuntaisen puolustuksen pääperiaate on oikein. Vapaasti muotoiltuna ydinturvallisuus ei saa vaarantua yksittäisen

Taso	Luokka	STUK Y/1/2018		STUK tekniset vaatimukset määräyslunnon L2	
		Tavoite	Keinot	Tavoite	Keinot
1	DBC 1	Ennalta ehkäiseminen ja luotettava käyttö	Ei määritelty	Vikojen ja häiriöiden estäminen	Laitoksen suunnittelu vakaaksi ja korkea laatu suunnittelussa, rakentamisessa, valmistuksessa sekä käyttötoiminnassa
2	DBC 2	Häiriötilanteiden hallinta	Laitos varustetaan järjestelmillä, jotka kykenevät rajoittamaan tilanteen kehittymistä onnettomuudeksi	Vikojen ja häiriöiden seurausten hallinta ja niiden onnettomuudeksi kehittymisen estäminen	Ei määritelty
3	DBC 3-4	Onnettomuus-tilanteiden hallinta	Laitos varustetaan järjestelmillä, jotka estävät vakavien polttoainevaurioiden syntymisen oletetuissa onnettomuuksissa ja oletettujen onnettomuuksien laajenuksessa	(3a) Oletettujen onnettomuuksien hallinta ja päästön rajoitus	Laitos varustetaan turvallisuustoiminnoilla
	DEC A-C (DEC A1-A3)			(3b) Oletettujen onnettomuuksien laajennusten hallinta ja tilanteen vakavaksi reaktorionnettomuudeksi tai päästön merkittävän kasvun estäminen	Laitos varustetaan täydentävillä turvallisuustoiminnoilla
4	SA	Päästön rajoittaminen vakavissa reaktorionnettomuuksissa	Laitos varustetaan järjestelmillä, jotka varmistavat suojarakennuksen riittävän tiivyyden vakavissa reaktorionnettomuuksissa	Vakavan reaktorionnettomuuden hallinta ja päästöjen rajoitus	Laitos varustetaan erityisillä turvallisuustoiminnoilla
5		Seurausten lieventäminen	Varaudutaan huolehtimaan väestöön kohdistuvan säteilyaltistuksen rajoittamista tilanteessa, jossa laitokselta on päässyt radioaktiivisia aineita ympäristöön	Onnettomuuden seurausten lieventäminen	Ei määritelty

STUKin määräyksen Y/1/2018 ja tulevan määräyksen L2-luonnoksen (määräys ydinvoimalaitoksen teknisistä turvallisuusvaatimuksista) mukaiset syvyysuuntaisen puolustuksen tasot eroteltuna tavoitteisiin ja keinoihin. Oletettujen onnettomuuksien laajennukset ovat määräyksessä Y/1/2018 DEC A-C, ja luonnosmääräyksessä DEC A1-A3. Taulukossa lyhenne SA tarkoittaa vakavaa reaktorionnettomuutta.

inhimillisen virheen tai järjestelmän pettämisen vuoksi, vaan onnettomuuden tulee edellyttää monen toisistaan riippumattoman ja toimintavarman asian pettämistä.

Syvyysuuntaisella puolustuksella on muutama selvä heikkous. Puolustustasot eivät ole peräkkäisiä, vaan tasot on suunniteltu eri tapahtumia vastaan. Puolustustasot eivät voi olla toisistaan täysin riippumattomia, koska eri tasoilla yritetään vaikuttaa yhteen ja samaan prosessiin. Laitetasolle mentäessä paljastuu nopeasti, että yhteisiä laitteita on mahdotonta välttää. Puolustustasot ovat Suomessa pelkkää erilaisuutta, mikä on seurausta siitä, että moninkertaisuusperiaate ainoastaan vahvistaa yksittäistä tasoa. Tämän seurauksena erilaisuus jää ainoaksi tasoja erottavaksi asiaksi.

Itse laskea syvyysuuntaisen puolustuksen suurimmaksi haasteeksi sen soveltamisen näennäisen helppouden. Paperilla kaikki näyttää suoraviivaiselta, mutta todellisen laitoksen kohdalla on pakko turvautua kompromisseihin, jos haluaa noudattaa fysiikan lakeja.

PUOLUSTUSTASOT EIVÄT OLE PERÄKKÄISIÄ

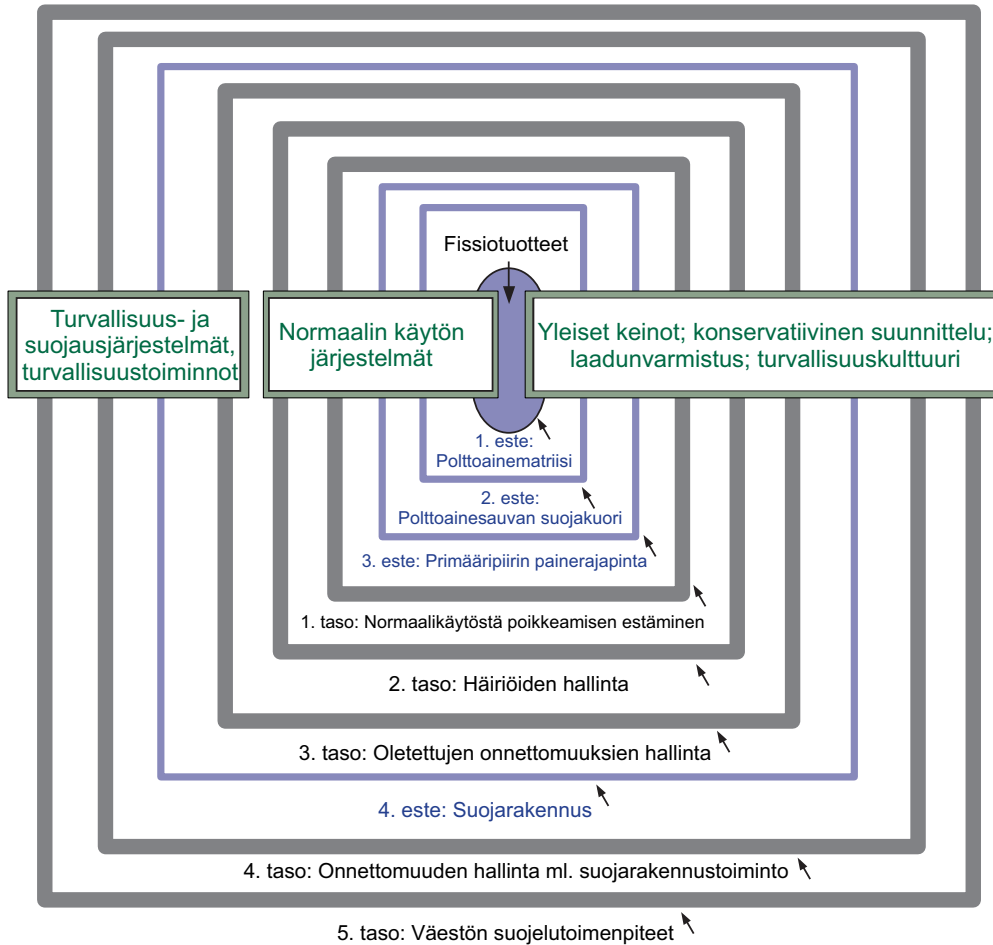
Puolustustasot on suunniteltu eri alkutapahetkistä vastaan. Käyttöhäiriöitä varten suunnitelluilla järjestelmillä ei voida hoitaa oletettuja onnettomuuksia, vaan parhaimmillaan hieman lievittää niitä, ilman että se oleellisesti vaikuttaa tilanteen lopputulokseen.

Suuren primäärikuodon kohdalla primääripiirin massataseen hienosäätämiseen tarkoitettu järjestelmä on tilanteen hallinnan kannalta merkityksellinen. Samanlainen haaste on nähtävillä myös oletettujen onnettomuuksien laajenuksissa. Ilman puolustustason 3b järjestelmiä tilanteiden hallinta ei tyypillisesti ole mahdollista. Tosin osa oletettujen onnettomuuksien laajenuksena olevista harvinaisista ulkoisista tapahtumista kuten hyvin harvinainen meriveden lämpötila tai suuri tuulennopeus huomioitaisiin uuden laitoksen osalta jo rakenteiden suunnittelussa, jolloin tapahtuma hoidetaan ilmeisesti jo tasolla 1?

Todellinen puolustustasojen lukumäärä riippuu alkutapahetkistä. Karkeasti

käyttöhäiriöillä on kaksi puolustustasoa (2 ja 3a) estämään vakava reaktorionnettomuus. Oletetuilla onnettomuuksilla on noin 1,5 puolustustasoa (3a ja 3b). Oletettujen onnettomuuksien laajenuksilla on 1 puolustustaso ja vakavilla reaktorionnettomuuksilla ei ole yhtään puolustustasoa onnettomuuksien estämiseen. Syvyysuuntaisen puolustuksen viisi eri kerrosta antavat ymmärtää toisin.

Viidettä puolustustasoa ei tullut käsitellyä, mutta se on toiminnassa myös vakavia reaktorionnettomuuksia lievemmässä tapauksissa. Mikäli oletetussa onnettomuudessa tai sen laajenuksessa on suojarakennuksen ohitustapahtuma, puolustustaso 5 täydessä toiminnassa, vaikka sydänvauriota ei tapahtuisi. Tähän toimintaan kuuluu muun muassa päästöjen mitaus ja analysointi sekä tarvittavien väestönsuojelutoimenpiteiden suunnittelu ja toteutus. Koska toiminta pyörii jo oletetuissa onnettomuuksissa, on sitä vaikea mieltää peräkkäiseksi puolustustasoksi, joka pelastaa tilanteen, jos edellinen taso pettää.



INSAG-3-asiakirjan mukaiset eri puolustustasot sisältäen fyysiset esteet. Kuva on tehty INSAG-12-asiakirjan [4] kuvan pohjalta. Huomion arvoista on, että yleiset keinot vaikuttavat kaikkiin tasoihin ja leviämiseesteisiin. Verrattuna nykyaikaiseen syvyysuuntaiseen puolustukseen järjestelmät on jaettu vain kahteen luokkaan: normaalin käytön järjestelmiin sekä turvallisuus- ja suojausjärjestelmiin.

PUOLUSTUSTASOT EIVÄT VOI OLLA RIIPPUMATTOMIA

Ydinvoiman pääturvallisuusuustoimintoja ovat alikriittisyyden hallinta, jälkilämmönpoisto ja radioaktiivisten aineiden leviämisen estäminen. Arvioidaan näitä vasten syvyysuuntaista puolustusta ja eri tasojen riippumattomuutta hyvin yleisellä tasolla. Tarkastelu tehdään painevesilaitokselle.

Painevesilaitoksessa reaktiivisuutta hallitaan säätösauvoilla ja pidemmällä aikavälillä jäähdytteen boorihappopitoisuudella. Laitoksilla on useampia ohjaustapoja säätösauvoille, ja ohjaustavat solahtavat mukavasti syvyysuuntaisen puolustuksen eri tasolle. Kaikissa niissä on kuitenkin yhdistävänä tekijänä säätösauvojen liikuttaminen. Tältä osin puolustustasot eivät ole riippumattomia alikriittisyyden hallinnassa. Ainoastaan boorihappopitoisen jäähdytteen syöttö on säätösauvoista riippumaton reaktiivisuuden hallinnan keino.

Jälkilämmönpoiston osalta tilanne on erikoisempi. Primääripiirin ollessa tiivis jälkilämpöä poistetaan häiriö- ja hätätilanteessa höyrystimillä. Jälkilämmönpoisto edellyttää veden syöttämistä höyrytimeen, ja höyryn johtamista lämpönieluun. Höyrytimeen syötettävän veden virtausta ja höyrytimeistä lähtevän höyryn virtausta tulee säätää, jotta höyrytimeessä pysyy sopiva vedenpinta jälkilämmönpoistoon. Höyrytimeen voidaan syöttää vettä eri pumpuilla, jotka istuvat syvyysuuntaisen puolustuksen tasoihin, ja samoin höyrytimeissä syntynyttä höyryä voidaan johtaa eri paikkoihin.

Kuvitellaan kolmen eri putkilinjan menevän höyrytimeen siten, että jokaisella puolustustasolla (1, 2 ja 3) on oma putkilinja ja syöttävät pumput. Täydellinen riippumattomuus tarkoittaisi, että höyrytimeen pintaa voitaisiin hallita yhdellä tasolla riippumatta muiden tasojen toiminnasta. Tämä ei selvästikään voi toteutua, sillä pin-

nan hallinta edellyttää, että vain yhden tason ratkaisu on toiminnassa kerrallaan. Käytännössä ylemmän puolustustason toiminta edellyttää, että alempien tasojen toiminta on estetty.

Alemman puolustustason toiminnan estäminen edellyttää tyypillisesti venttiiliohjauksia, joten tasojen 1 ja 2 linjoihin tulisi sisällyttää tason 3 sulkuventtiilit. Nyt taas tasojen 1 ja 2 toiminta on sen varassa, että taso 3 ei virheellisesti sulje kyseisiä sulkuventtiilejä. En ainakaan itse keksi miten puolustustasoilla 1-3 olisi mahdollista toteuttaa höyry- ja syöttövesilinjaratkaisut, joilla tason 3 toiminta olisi täysin riippumaton tasojen 1-2 toiminnasta tai toimimattomuudesta. Yksi tapa rikkoa tasojen riippumattomuutta on käyttää joi-tain yhteisiä venttiilejä, joita voi ohjata eri tasoilta, ja määritellä tasojen välinen ohjauksiprioriteetti.

Radioaktiivisten aineiden leviämisen estämisessä eri puolustustasot ovat

polttoainesauvojen suojakuori, paineastian ja primääripiirin eheys ja lopulta suojarakennustoiminto. Tässäkin on selvää, että osittain samat leviämiseesteet ovat käytössä normaalisti ja onnettomuuksissa lukuun ottamatta suojarakennusta. Suojarakennustoimintoa tarvitaan oletetuissa onnettomuuksissa, oletettujen onnettomuuksien laajennuksissa ja vakavissa reaktorionnettomuuksissa. Kukaan ei tietääkseni ole ehdottanut jokaiselle puolustustasolle omaa erillistä suojarakennusta.

Edellä mainittujen yksinkertaisten esimerkkien on tarkoitus havainnollistaa, miten nopeasti syvyysuuntaisen puolustuksen abstraktio vuotaa. Lisäksi edellä ei edes pohdittu tukitoimintoja. Kuinka moninkertaiset automaatio-, sähkö- ja ilmastointijärjestelmät tarvitaan, jos joka tasolla on omat tukijärjestelmänsä?

PUOLUSTUSTASOT OVAT VAIN ERILAISUUTTA

Kerrataan nopeasti turvallisuusjärjestelmien suunnittelun pääperiaatteet. Näitä ovat moninkertaisuus-, erottelu- ja erilaisuusperiaate. Moninkertaisuusperiaate tarkoittaa, että järjestelmä pystyy suorittamaan tehtävänsä, vaikka mikä tahansa järjestelmän yksittäinen laite olisi epäkunnossa. Erotteluperiaate tarkoittaa fyysistä ja toiminnallista erottelua. Erilaisuusperiaate tarkoittaa toiminnon toteuttamista eri toimintaperiaatetta käyttävillä laitteilla tai muuten keskenään erilaisilla laitteilla.

Edellä mainittujen periaatteiden yhdistäminen syvyysuuntaisen puolustukseen edellyttää hieman survomista. Suomessa moninkertaisuusperiaate on viety osaksi yksittäisen puolustustason vahvuutta. Moninkertaisuuden lisääminen vahvistaa yksittäistä puolustustasoa, mutta ei tuo puolustukseen syvyyttä. Syvyyttä saadaan ainoastaan toisistaan riippumattomilla puolustustasoilla.

Moninkertaisuusperiaatteeseen sisältyy jo osajärjestelmiin sovellettava fyysinen ja toiminnallinen erottelu. Toiminnalliseen erotteluun kuuluu, että yhden osajärjestelmän menetys ei vaikuta muihin osajär-

jestelmiin. Tämä huomioiden puolustustasojen väliseksi eroiksi tuntuu jäävän enää erilaisuus. Nykyinen syvyysuuntaisen puolustus tuntuu edellyttävän nelinkertaisia erilaisia järjestelmiä sydänvaurion estämiseen (tasot 1, 2, 3a ja 3b). Toisaalta kuitenkin jo aiemmin todettiin, eri puolustustasot on suunniteltu eri tapahtumia varten, joten neljä eri tarkoitukseen varattua järjestelmää riittää.

Länsimaisten ydinturvallisuusviranomaisten seuran WENRAn reaktoriturvallisuuden harmonisointi-työryhmän (RHWG) näkemys eri tasojen riippumattomuudesta oli vuonna 2013 [5], että erityisesti seuraavilla tasoilla pitäisi olla seuraavat riippumattomuudet, mikäli se on käytännöllisin toimenpitein mahdollista:

- Tason 3 tulee olla riippumaton tasosta 1 ja 2.
- Tasojen 3a ja 3b tulee olla toisistaan riippumattomat.
- Tason 4 tulee olla riippumaton kaikista tasoista.

RHWG:n näkemys siis oli, että kolme riippumattomaa puolustustasoa riittää sydänvaurion estämiseen, ja sydänvaurion hallinnan pitää olla riippumaton muista tasoista.

ENNEN KAIKKI EI OLLUT HUONOMMIN

Syvyysuuntaisen puolustus on hyvä turvallisuusfilosofia, mutta soveltuu huonosti konkreettisiksi vaatimuksiksi. Ydinvoimalan vakiintunut käytäntö on valitettavasti lapioida uusia vaatimuksia vanhojen päälle, vaikka nämä olisivat osittain päällekkäisiä tai, mikä pahempaa, keskenään yhteensopimattomia.

Syvyysuuntaisen puolustuksen vaatimusten lisääminen moninkertaisuus-, erilaisuus- ja erotteluperiaatteiden päälle on johtanut erikoiseen himmeliin. Se on monimutkainen rakenne hyvällä tarkoitusperrällä, mutta lopputuloksena on epäselvä ja epäkoherentti kokonaisuus.

Yksi syvyysuuntaisen puolustuksen harmillisista piirteistä on sen epämääräisyys, joka hankaloittaa sen kriittistä arviointia ja tekee sen soveltamisesta tul-

kinnanvaraista. Saavutettiin niinkin suuri riippumattomuus kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista vai ei? Suunnittelija tekee valistuneen arvionsa, viimeistelee suunnitelmat ja toivoo luvanhaltijan sekä viranomaisen päätyvän samaan lopputulokseen.

Uskon, että alalla työskentelevät seittävät syvyysuuntaisen käsitteen yhdenmukaisesti, mutta epäilen, että sen soveltamisessa nousee esiin erilaisia näkemyksiä. Tämänkin kirjoituksen kritiikki on haluttaessa helppo ohittaa toteamalla, että kirjoittaja on selvästi ymmärtänyt syvyysuuntaisen puolustuksen väärin. Toisaalta mitä sekään kertoisi kyseisen käsitteen selkeydestä, jos sen oppimiseen ei riitä muutama vuosi tai vuosikymmen?

En yleensä haikaile menneisyyteen, mutta syvyysuuntaisen puolustuksen osalta palaisin mielestäni 1970-luvun määritelmiin. Tunnustan, että myös INSAG-3:n määritelmä houkuttelee, koska se havainnollistaa, että muun muassa suunnittelun laatu vaikuttaa kaikilla tasoilla. Siihen nähdyn nykyiset syvyysuuntaisen puolustuksen tasot määrittelyineen tarjoavat yksinkertaistetun ja silotellun kuvan, joka vastaa huonommin todellisuutta.

INSAG-3-asiakirjan alkuperäisessä versiossa on muuten näkemys, että oikein rakennetulla syvyysuuntaisella puolustuksella varmistetaan, että mikään yksittäinen inhimillinen virhe tai mekaaninen vikaantumisen ei johda radioaktiivisten aineiden päästöihin. Ilmeisesti Three Mile Islandin kaltainen sydänvaurio oli vielä juuri ja juuri hyväksyttävissä myös oikein rakennetulla 1980-luvun lopun syvyysuuntaisella puolustuksella.

lhanteellisessa tapauksessa syvyysuuntaisen puolustus palautuisi suunnittelufilosofiaksi ilman konkreettisia omia vaatimuksia. Koen vaatimuksen puolustustasojen riippumattomuudesta ongelmallisena sen epämääräisyyden vuoksi, ja näkisin mieluummin tarkemmin kohdistettuja vaatimuksia erottelu-, erilaisuus- ja moninkertaisuusperiaatteiden soveltamisesta eri alutapahtumaluokissa. 🌀

1 NRC, NRC Historical Review and Observations of Defense-in-Depth, NUREG/KM-0009

2 IAEA INSAG, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, 75-INSAG-3, 1988 (haettu NRC:n sivuilta: <https://www.nrc.gov/docs/ML0906/ML090650543.pdf>)

3 IAEA INSAG, Defence in Depth in Nuclear Safety, INSAG-10, 1996

4 IAEA INSAG, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants 75-INSAG-3 Rev. 1, INSAG-12, 1999

5 WENRA RHWG, WENRA views on Defence-in-Depth for new reactors -esitys, International Conference on Topical Issues in Nuclear Installation Safety: Defence in Depth – Advances and Challenges for Nuclear Installation Safety, Wien, Itävalta, 2013

STEADY ENERGYN PILOTTILAITOS ETENEE: PASSIIVISEN TURVALLI- SUUDEN TESTAUSALUSTA KAUKOLÄMPÖREAKTORILLE

Steady Energy on siirtynyt uuteen vaiheeseen kehitystyössään aloittamalla LDR-pilottilaitoksen rakentamisen Helsingin Salmisaaren. Koelaitos rakennetaan huhtikuussa 2025 suljetun Salmisaaren hiilivoimalaitoksen turbiinihalliin, joka tarjoaa teknisesti ja logistisesti soveltuvan ympäristön pilotin toteuttamiselle kaupunkirakenteen keskellä.

Teksti: Peppi Seppälä

Kuvat: Steady Energy Oy

Pilottilaitoksen avulla on tarkoitus todentaa passiivisten turvallisuusratkaisuiden toimiminen reaali maailmassa. Pilotti on keskeinen askel Steady Energy



Tkk Peppi Seppälä

Public Affairs Specialist

Steady Energy

peppi.seppala@steadyenergy.fi

matkassa kehittää kaukolämmöntuotantoon soveltuvaa pienydinvoimaa ja mahdollistaa ensimmäisten kaupallisten laitosten käyttöönotto 2030-luvulla.

Pilottilaitoksen rakentaminen etenee vaiheittain perustusten valmistuksesta reaktorialtaan ja itse reaktorin rakentamiseen. Yksi hankkeen merkittävistä virstanpylväistä oli peruskiven valamisseremonia, jossa vieraili myös ilmasto- ja ympäristöministeri Sari Multala. Ministeri Multala korosti puheessaan pilottilaitoksen laajempaa merkitystä suomalaiselle ydinenergia-alalle ja energiajärjestelmän murrokselle.

PILOTIN YDIN: PASSIIVISEN TURVALLISUUDEN TODENTAMINEN

Pilottilaitoksen ensisijainen tavoite ei ole energiantuotanto vaan reaktorin passiivisten turvallisuustoimintojen osoittaminen. Pilottissa testataan reaktorin turvallisuus-

ratkaisuja tilanteissa, joissa aktiivisia järjestelmiä tai ulkoista sähkönsyöttöä ei ole käytettävissä.

Passiiviset turvallisuustoimet perustuvat painovoimaan ja luonnolliseen lämmönkiertoon, jolloin lämmön siirtyminen pois reaktorisydäimestä onnistuu ilman ulkoista sähkönsyöttöä tai operaattoritoimenpiteitä. Tämä lähestymistapa on keskeinen osa Steady Energyn konseptia ja yksi sen merkittävimmistä eroista perinteisiin ydinlaitoksiin verrattuna.

Pilottilaitoksessa ei käytetä ydinpolttoainetta, vaan lämmitysteho tuotetaan sähkövastuksilla, eikä kyseessä ole ydinenergialain tarkoittama ydinlaitos. Tämä mahdollistaa turvallisuusjärjestelmien testaamisen realistisissa olosuhteissa ilman säteily- tai kriittisyysriskejä. Pilottilaitoksessa syntyvä lämpö hyödynnetään kaukolämmön tuotannossa.

MITTAUSDATA SUUNNITTELUN JA LUVITUKSEN TUKENA

Reaktorimoduuliin ja sitä ympäröivään altaaseen asennetaan yli 300 termoparia, joiden avulla tutkitaan luonnonkieron käynnistymistä sekä reaktorin käyttäytymistä normaali- ja häiriötilanteissa. Lämpötilamittausten avulla analysoidaan myös lämmönsiirtoa sekä päälämmönsiirtimien että hätälämmönsiirtoketjun kautta. Keskeisessä roolissa on lämmönsiirtymi-



Yksi reaktori tuottaa 50 MW lämpötehoa ja varsinaiseen laitokseen tulee vähintään kaksi reaktoria.

Pilotin rakentaminen etenee ja myös painestian valmistus on aloitettu.

nen reaktoripainesäiliöstä suojarakennus-säiliöön ja edelleen sitä ympäröivään reaktorialtaaseen.

Lisäksi moduuliin asennetaan useita paine-, paine-ero- ja pintamittauksia eri käyttö- ja poikkeustilanteiden tutkimista varten. Myös reaktorimoduuliin liittyviin prosessijärjestelmiin integroidaan lukuisia virtaus- ja lämpötilamittauksia, joiden avulla tutkitaan muun muassa tehon siirtymistä lämmönsiirtimiltä epäsymmetrisissä olosuhteissa.

Mittausdataa hyödynnetään reaktorisuunnittelun verifiointissa, mallien ja simulaatioiden validoinnissa, luvitusprosessien tausta-aineistona ja viranomaisyhteistyön tukena. Pilottilaitos toimii näin paitsi teknisenä koelaboratoriona, myös tärkeänä oppimisympäristönä tulevia kaupallisia laitoksia varten.

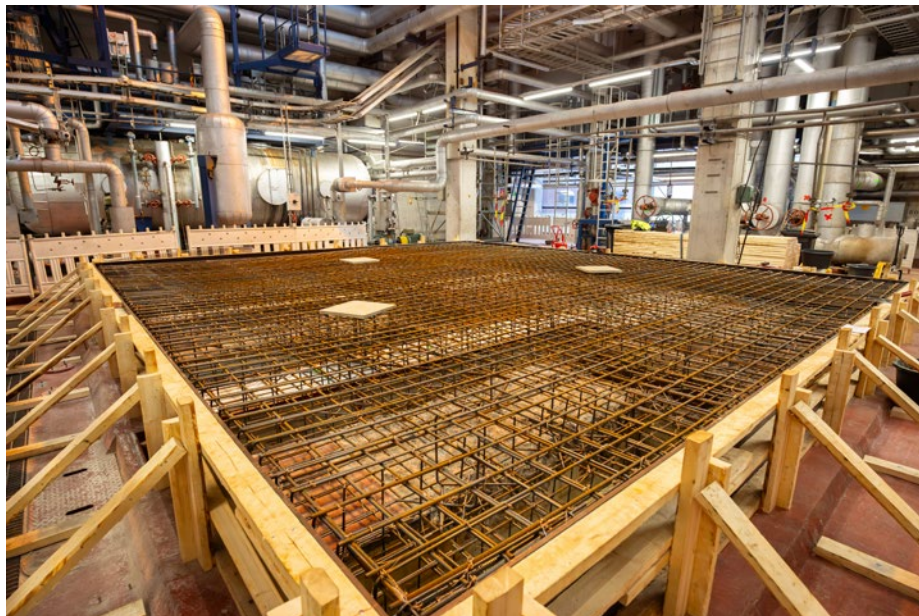
AIKATAULU JA SEURAAVAT VAIHEET

Pilotti valmistuu keväällä 2027, ja sen mittaus- ja testausvaihe jatkuu lokakuuhun 2028 asti. Pilotti mahdollistaa hankintaketjujen ja toimittajayhteistyön kehittämisen sekä tarjoaa uutta tarkkuutta kustannuksiin ja aikatauluihin. Tavoitteena on, että pilotista saatujen tulosten pohjalta voidaan edetä luvittavien kaukolämpöreaktorilaitosten suunnitteluun. Steady Energy:n pitkän aikavälin tavoitteena on ottaa ensimmäiset kaupalliset laitokset käyttöön 2030-luvulla.

Pilottilaitoksen yhteyteen rakennetaan näyttelytila, jonka tarkoituksena on lisätä ymmärrystä pienydinreaktoriteknologiasta eri sidosryhmien parissa, asiakkaita kuntapäätäjiiin ja sidosryhmiin. Näyttelytila tarjoaa mahdollisuuden tutustua pilottilaitoksen toimintaan, turvallisuusratkaisuihin ja kaukolämmön tuotantokonseptiin.


Avoimuus ja tiedon jakaminen ovat keskeisessä roolissa uuden teknologian hyväksyttävyyden ja ymmärrettävyyden rakentamisessa, erityisesti kaupunkiympäristössä.

Pilottilaitos on tarkoitettu väliaikaiseen käyttöön. Kun kokeilun tavoitteet on saavutettu ja tarvittava tieto saatu, laitos puretaan suunnitellusti ja turvallisesti. Purkamisen on huomioitu jo laitosta suunniteltaessa.



KOHTI UUDENLAISTA YDINLÄMPÖLAITOSTA

Salmisaaren pilottilaitos on konkreettinen osoitus siitä, miten pienydinreaktoreita voidaan kehittää vaiheittain hyödyntäen täyden mittakaavan testimoduulia osana laitossuunnittelua. Steady Energy:n lähestymistapa painottaa passiivisen turvallisuuden todentamista, teknistä realismia ja avoimuutta. Nämä ovat keskeisiä elementtejä SMR-ratkaisujen onnistumiselle tulevaisuudessa.

Pilottilaitoksen kokemukset tulevat olemaan merkittäviä paitsi Steady Energylle niin myös laajemmin suomalaiselle ydintekniikan osaamiselle ja kaukolämmön tulevaisuudelle. 

Pilottilaitoksella on jo käynyt lukuisia vieraita eri maista sekä eri organisaatioista, muun muassa Euroopan investointipankista.

SYVÄKAIRAREIKÄLOPPUSIJOITUS JA RADIONUKLIDIEN KÄYTTÄYTYMINEN SYVÄLLÄ KALLIOPERÄSSÄ

Anita Fabritius
Helsingin yliopisto, Kemian osasto, Radiokemia

Syväkairareivät tarjoavat mahdollisen loppusijoitusratkaisun pienreaktoreiden ydinjätteelle. Syväkairareikäloppusijoituksen turvallisuus perustuu radionuklidien pidättymiseen ja kulkeutumiseen kallioperässä. Tässä tutkimuksessa selvitetään jodin ja cesiumin käyttäytymistä 2,5 kilometrin syvyydestä peräisin olevissa kiviäytteissä erittäin suolaisessa pohjavedessä. Tulokset osoittavat, että kiven mineraalikoostumus ja pohjaveden korkea suolapitoisuus ohjaavat radionuklidien pidättymistä ja kulkeutumista, jotka ovat keskeisiä kriteereitä syväkairareikäloppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden arvioinnissa.

Deep boreholes provide a potential disposal solution for spent fuel from small modular reactors. The safety of deep borehole disposal relies on radionuclide retention and transport in the surrounding bedrock. This study examined the behaviour of iodine and caesium in rock samples from a depth of 2.5 kilometres, under highly saline groundwater conditions. The results show that mineral composition and high groundwater salinity control radionuclide retention and transport, which are essential criteria for evaluating the long-term safety of deep borehole disposal.

Suomi ja monet muut maat valmistautuvat parhaillaan pienten modulaaristen ydinreaktoreiden (Small Modular Reactor, SMR) aikakauteen. Suomessa ja EU:ssa tavoitellaan SMR-laitoksien käyttöönottoa jo vuoteen 2030 mennessä [1,2]. SMR-teknologia tarjoaa joustavaa ja vähäpäästöistä energiaa erityisesti kaukolämmön tarpeisiin, ja se voisi merkittävästi tukea Suomen ja EU:n ilmastotavoitteiden saavuttamista [2,3]. SMR-laitosten käyttöönotto edellyttää kuitenkin ratkaisua niiden tuottaman ydinjätteen turvalliseen käsittelyyn ja tulevaan loppusijoittamiseen [4].

Suomessa nykyisten ydinvoimalaitosten käytetty ydinpolttoaine tullaan loppusijoittamaan maanalaiseen ONKALO-loppusijoituslaitokseen. Koska ONKALO on mitoitettu ja lisensoitu ainoastaan nykyisten ydinreaktoreiden käyttöikänsä ai-

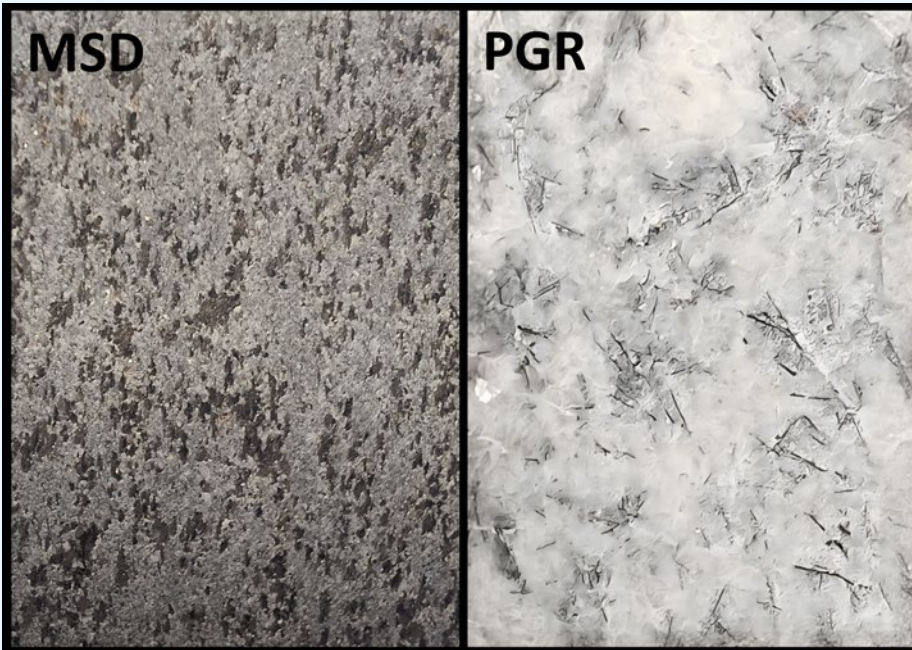
kana syntyvälle ydinjätteelle, se ei sellaisenaan sovellu pienreaktoreiden käytetylle polttoaineelle [4,5]. Uuden maanalaisen loppusijoituslaitoksen rakentaminen olisi erittäin kallista ja nykyisten tilojen laajentaminen SMR-jätettä varten vaatisi laajoja lisäselvityksiä, kuten turvallisuusarvion päivittämistä, lisensointimuuttamista sekä käytännössä koko loppusijoituslaitoksen toiminnan uudelleentarkastelua [4,5].

Useat suomalaiset kaupungit ovat ilmoittaneet selvittävänsä mahdollisuutta ottaa pienreaktoreita käyttöön tulevaisuudessa [4,6]. Jos SMR-laitoksia rakennetaan eri puolille maata ja käytössä on vain yksi loppusijoituslaitos, ydinjätteen kuljetusten määrä ja kuljetusetäisyydet kasvaisivat merkittävästi Suomessa lisäten logistiikan ja turvallisuuden haasteita [4]. Näiden syiden vuoksi SMR-laitosten käytetylle polt-

toaineelle on tarpeen arvioida vaihtoehtoisia loppusijoitusmenetelmiä, jotka olisivat nykyistä ratkaisua joustavampia, paikallisia ja kustannustehokkaampia, kuitenkin tinkimättä menetelmän turvallisuudesta [4,7].

Yksi lupaavimmista vaihtoehdoista on syväkairareikäloppusijoitus (Deep Borehole Disposal, DBD). Kyseisessä menetelmässä ydinjäte sijoitetaan halkaisijaltaan noin puolen metrin levyiseen kairareikään, jopa viiden kilometrin syvyyteen kiteiseen kallioperään [8]. Menetelmän turvallisuuden varmistaminen vaatii kuitenkin runsaasti tutkimuksia [8,9].

DBD-menetelmässä radionuklidien kulkeutumista rajoittavat sekä ihmisen suunnittelemat esteet (kuten jätekanisterit ja sementtiesteet) että luonnolliset esteet (vakaa, heikosti vettä johtava kalliopoe-



Kuva 1. Tutkimuksessa käytetyt kallioperänäytteet: vasemmalla metasedimentti (MSD) ja oikealla pegmatiittigraniitti (PGR). Kivet ovat peräisin noin 2300 metrin syvyydestä Outokummun R2500-syväreistä.

rä) [8,9]. Jos kuitenkin jokin menisi pieleen satojen tuhansien vuosien varastoinnin aikana ja ydinjätteestä peräisin olevia radioaktiivisia aineita vapautuisi kallioperään, on ratkaisevan tärkeää ymmärtää, miten radionuklidit käyttäytyvät syväällä kallioperässä vallitsevissa olosuhteissa. Radionuklidien käyttäytymisen tunteminen auttaa arvioimaan muun muassa, voivatko ne kulkeutua pohjavesien mukana kauas loppusijoitusalueelta, mahdollisesti jopa pintavesiin saakka.

Näihin kysymyksiin etsitään vastauksia Helsingin yliopiston radiokemian laboratoriossa käynnissä olevassa väitöskirjatutkimuksessa. Tutkimuksesta julkaistaan lähitulevaisuudessa tieteellisiä artikkeleita, ja sen tavoitteena on tuottaa uutta tietoa, jota tarvitaan SMR-jätteen turvallisen loppusijoituksen suunnitteluun Suomessa ja maailmalla.

Mitä syvemmällä, sen parempi?

DBD-konseptissa kiteiseen kallioperään porataan noin puolen metrin levyinen kairareikä. Jätekanisterit lasketaan reiän pohjalle 1–5 kilometrin syvyyteen [7,8,10], ja niiden yläpuolelle kasataan 1–3 kilometriä paksu tiivistekerros, joka koostuu bentoniitista, betonista, murskatusta kiviaineksesta ja mahdollisesti myös asfaltista [7,9]. Syväkairareikä voidaan toteuttaa joko pys-

tysuorana porauksena tai L-muotoisena ratkaisuna, jossa reikä kaartuu syvällä vaakasuuntaiseksi [10]. L-muotoinen poraus mahdollistaa kaikkien kanisterien sijoittamisen samaan syvyyteen, mikä yksinkertaistaa geologista tutkimusta ja turvallisuusarvioita, kun kaikki kanisterit ovat samassa geologisessa kerroksessa.

Menetelmä hyödyntää öljy- ja geotermisen teollisuuden poraustekniikkaa, joka on jo käytössä [7,8]. DBD-menetelmä on myös kustannustehokkaampi ja joustavampi kuin perinteinen tunneliloppusijoitus. Infrastruktuurin tarve on huomattavasti pienempi ja kustannukset jäävät tyypillisesti selvästi ONKALO-tyypisiä ratkaisuja alhaisemmiksi, koska poraus voidaan toteuttaa paikallisesti ilman laajaa louhimista [7,11]. Lisäksi syväkairareikä voidaan porata lähelle jätteen syntypaikkaa, mikä vähentää kuljetustarvetta ja mahdollistaa modulaarisen, vaiheittain toteutettavan loppusijoituksen.

Käytetty ydinpoltoaine sijoitetaan siis huomattavasti syvemmälle kuin perinteisessä tunneliloppusijoituksessa: kun ONKALOSSA polttoaine on noin 400 metrin syvyydessä, DBD-konseptissa puhutaan jopa kilometrien mittaluokasta [8,12]. Näin syväällä kallioperä on Suomessa geologisesti hyvin vakaa, pohjaveden liike on erittäin hidasta ja olosuhteet pysyvät muuttumattomina miljoonia vuosia [7].

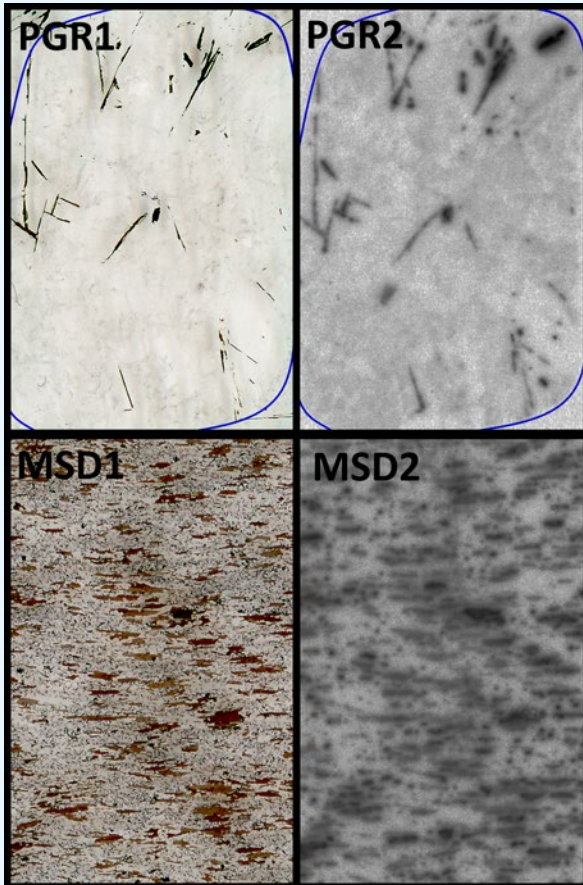
Vaikka Suomessa on jo noin neljäkymmenen vuoden ajan tehty laajaa tutkimusta geologisesta loppusijoituksesta ja radionuklidien kulkeutumisesta ONKALOA varten, sen tuottama tieto ei silti täysin sovellu syväkairareikien turvallisuuden arviointiin. Kilometrien syvyydessä vallitsevat olosuhteet poikkeavat merkittävästi aiempien tutkimusten olosuhteista. Outokummun syväreiässä 2,5 kilometrin syvyydessä pohjavesi on hapetonta ja erittäin suolaista, lämpötila on noin 40 °C ja paine nousee jopa 670-kertaiseksi normaaliin ilmanpaineeseen verrattuna [13]. Vastaava paine vallitsisi lähes seitsemän kilometrin syvyydessä valtameressä. Tällaiset olosuhteet, joissa pohjavesi ei vaihdu ylempien pohjavesikerroksien kanssa ja kallioperä on paineen tiivistämää, muodostavat tehokkaan luonnollisen suojan, joka hidastaa radionuklidien liikkumista ja tekee niiden kulkeutumisesta pintavesiin epätodennäköisempää [8,13]. Vaikka olosuhteet hidastavat radioaktiivisten aineiden kulkeutumista, ne eivät estä sitä kokonaan.

Syvyyden tuoma etu ei kuitenkaan yksin riitä. Syväkairareikien turvallisuuden varmistamiseksi on ymmärrettävä, miten radionuklidit käyttäytyvät näissä olosuhteissa ja miten kallioperä, betoni ja muut esteet pidättävät niitä pitkällä aikavälillä. Käytetyssä ydinpoltoaineessa on polttoaineen pääkomponentin uraani-238:n lisäksi useita eri radioaktiivisia fissio- ja hajoamistuotteita, joista pitkäaikaturvallisuuden kannalta kiinnostavimpia ovat pitkäikäiset radioaktiiviset nuklidit, jotka eivät pidäty kiviainemateriaalin vaan kulkeutuvat pohjavesien mukana.

Näytteet ja menetelmät

Tutkimuksessa käytettävät näytteet ja olosuhteet edustavat samoja olosuhteita, joita DBD-konseptissa hyödynnettäisiin: yli kahden kilometrin syvyydessä vallitsevaa suolaista, hapetonta pohjavettä ja tiivistä kiteistä kallioperää. Paineen ja lämpötilan vaikutusta ei huomioitu, sillä erittäin korkean paineen tuottaminen tavanomaisissa laboratorio-olosuhteissa ei ole mahdollista ja 40 °C:n lämpötilan arvioitiin vaikuttavan kokeisiin vain vähäisesti.

Pohjavesitieto on peräisin Suomen geologisen tutkimuskeskuksen (GTK) tekemistä mittauksista Outokummun syväreiässä noin 2,5 kilometrin syvyydessä [13], josta myös kiviainenäytteet ovat peräisin. Tutkimus yhdistää radionuklidien pidättymis- ja kulkeutumiskokeet, ohutleikuradiografian sekä röntgendiffraktioanalyysin (X-ray diffraction, XRD), joiden avulla voidaan hah-



Kuva 2. Skannatut ohuthiekuvat (PGR1 ja MSD1) ja autoradiografiakuvat (PGR2 ja MSD2) cesium-134:n pidentymisestä pegmatiittigraniittiin (PGR, yläriivi) ja metasedimenttiin (MSD, alariivi). Autoradiografiassa tummemmat kohdat vastaavat suurempaa aktiivisuutta. Kuvia vertailemalla nähdään, että cesium pidentyy erityisesti tummiin mineraaleihin, kuten biotiittiin.

mottaa radionuklidien käyttäytymistä mineraalitasolta koko kiven mittakaavaan.

Kivien mineraalikoostumus ohjaa radionuklidien käyttäytymistä

XRD-tulokset paljastavat kaksi selvästi erilaista kivityyppiä, jotka on esitetty kuvassa 1. Metasedimentti (MSD) koostuu pääasiassa kvartsista, natriumpitoisesta plagioklaasista ja biotiitista. Biotiitin osuus on merkittävä (noin 18 paino-%), ja juuri tämä tumma, rautaa ja magnesiumia sisältävä kiillemineraali tarjoaa kationeille, erityisesti maa- ja alkalimetalleille, runsaasti negatiivisesti varautuneita pintoja, joihin ne voivat pidentyä. Pegmatiittigraniitti (PGR) puolestaan on huomattavasti vaaleampaa ja koostuu lähes kokonaan kvartsista ja natriumpitoisista plagioklaaseista, joiden pidentämiskyky nuklidien suhteen on merkit-

tävästi heikompi. Nämä erot mineraalikoostumuksissa näkyvät selvästi radionuklidien käyttäytymisessä.

Kuvassa 2 on esitetty cesiumin pidentyminen molempien kivityyppien ohuthieisiin, ja siitä on nähtävissä, että mineraalikoostumus ohjaa radionuklidien pidentymistä. Kuvasta nähdään, että erityisesti tummat mineraalit, kuten biotiitti, sorboivat cesiumia voimakkaammin, kun taas vaaleat mineraalit, kuten kvartsi, eivät sorboi juuri ollenkaan.

Sorptioeräkoeket tukevat tätä havaintoa. Jodi pidentyi erittäin heikosti kumpaankaan kivilajiin ja pH-alueella 5–11 keskimäärin vain noin 6 % jodista pidentyi pegmatiittigraniittiin ja 5 % metasedimenttiin. Cesiumin kohdalla kivilajien erot näkyvät huomattavasti selkeämmin pidentymiskokeiden tuloksissa. Vain noin 4 % cesiumista pidentyi pegmatiittigraniittiin, mutta jopa 62 % metasedimenttiin pH-välillä 5–10. Mineraalikoostumuksen vaikutus näkyy siis selvästi cesiumin pidentymisessä.

Korkeammassa pH-arvoissa cesiumin pidentyminen heikkeni molemmissa kivityypeissä. Outokummun syväreiässä 2,5 kilometrin syvyydessä mitatussa pH:ssa 8,5 jodin jakautumiskertoimet olivat pegmatiittigraniitille 1,5 mL/g ja metasedimentille 1,6 mL/g. Molemmat jakautumiskertoimet ovat alhaiset, sillä jodi ei pidenty kivilajien juuri ollenkaan. Cesiumin jakautumiskertoimet ovat vastaavasti 0,8 mL/g pegmatiittigraniitille ja 130 mL/g metasedimentille.

Radionuklidit kulkeutuvat kiven huokosissa

Radionuklidit liikkuvat kiven läpi pohjaveden mukana kiven halkeamissa ja huokosissa. Vesigravimetrialla selvitetty huokoisuus pegmatiittigraniitille on hyvin pieni, noin 0,42 % ja metasedimentille hieman suurempi, noin 1,7 %. Diffuusiokokeet ovat artikkelin kirjoitushetkellä vielä kesken, mutta alustavat tulokset osoittavat, että sekä jodi että cesium ovat osittain läpäisseet 1,85 cm paksut kivilajit.

Jodi mitattiin molempien kivien inaktiivisella puolella jo kahden vuorokauden jälkeen, kun taas cesium kulkeutui selkeästi hitaammin, ja sen läpimeno pegmatiittigraniitin läpi havaittiin ensimmäisen kerran noin 24 vuorokauden ja metasedimentin läpi noin 13 vuorokauden kuluttua kokeen aloittamisesta. Sadan vuorokauden kohdalla keskimäärin 0,23 % cesiumista ja noin 8,8 % jodista oli kulkeutunut metasedimenttinäytteen läpi, kun taas pegmatiittigraniitin läpi oli kulkeutunut keskimäärin 1,02 % cesiumista ja noin 32,15 % jodista.

Mitä tulokset kertovat DBD-menetelmän turvallisuudesta?

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että radionuklidien kulkeutuminen syväkairareikäloppusijoituksen olosuhteissa riippuu muun muassa kiven mineraalikoostumuksesta. Kuten tässäkin tutkimuksessa, myös ONKALOSSA tehdyissä REPRO-TDE-kokeissa [14] on havaittu, että erityisesti kationit pidentyvät tehokkaasti mineraalipinnoille, kun taas anionit kulkeutuvat nopeammin, sillä ne eivät pidenty kiven pintaan juuri ollenkaan [15]. Kuitenkin esimerkiksi Outokummun syväreiässä tehdyt tutkimukset osoittavat, että syvällä kallioperässä vallitsevat olosuhteet poikkeavat merkittävästi matalampien loppusijoitusyvyksien olosuhteista muun muassa pohjaveden suolaisuuden, alhaisen huokoisuuden, korkean paineen ja lämpötilan vuoksi ja vaativat siksi uutta tutkimusta DBD-menetelmän turvallisuudesta.

Suolainen vesi heikentää radionuklidien pidentymistä, koska siinä olevat pienemmät ionit vievät mineraalipinnoilta tilaa ja syrjäyttävät erityisesti suurempikokoisia radionuklideja. Samalla suolapitoisuus nopeuttaa radionuklidien liikkumista kiven huokosissa, sillä ionivahvuuden kasvaessa diffuusiokerros puristuu ohuemmaksi, mikä lisää huokosten vapaata tilaa rakeiden välissä [15]. Tämä ilmiö on havaittu myös tässä tutkimuksessa, jossa sorptioprosentit olivat alhaisia, mutta radionuklidien kulkeutuminen oli keskimäärin nopeampaa verrattuna vähäsuolaisiin olosuhteisiin.

Vaikka suolainen pohjavesi voi lisätä joidenkin radionuklidien kulkeutumista kallioperässä, virtausolosuhteiden puuttuminen ja kilometrien mittainen kulkeutumismatka alentavat merkittävästi riskiä radionuklidien päätyemisestä pintavesiin. Jatkotutkimuksissa pyritään ottamaan paremmin huomioon peruskallion olosuhteissa olevan lämpötilan ja suuren paineen vaikutus kulkeutumiseen.

VIITTEET

- [1] Helen, 2023. Helen ja Steady Energy tähtäävät ydinlämpötuotannon käynnistämiseen Suomessa. <https://www.helen.fi/uutiset/2023/helen-ja-steady-energytahtaavat-ydinlampotuotannon-kaynnistamiseen-suomessa>.
- [2] Euroopan komissio, 2023. Report on small modular reactors. (Report 2023/2109(INI)). [https://oeil.europarl.europa.eu/oeil/en/procedure-file?reference=2023/2109\(INI\)](https://oeil.europarl.europa.eu/oeil/en/procedure-file?reference=2023/2109(INI)).
- [3] International Atomic Energy Agency, 2023. What are Small Modular Reactors (SMRs)? [WWW Document]. <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>. Viitattu 25.04.26.
- [4] Juutilainen, P., Naumer, S., Airola, M., Schatz, T., Haavisto, T., Gotcheva, N., Häkkinen, S., 2023. SMRSiMa:SMR Siting and Waste Management: Waste Management Considerations and Societal Acceptability, VTT Research Report. VTT Technical Research Centre of Finland.
- [5] Keto, P., Juutilainen, P., Schatz, T., Naumer, S., Häkkinen, S., 2022. Waste Management of Small Modular Nuclear Reactors in Finland, VTT Research Report. VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo.
- [6] City of Helsinki, 2023. Small-scale nuclear power. Hel.fi. <https://www.hel.fi/en/urban-environment-and-traffic/urban-planning-and-construction/plans-and-building-projects/small-scale-nuclear-power>. Viitattu 29.4.26.
- [7] Brady, P., Arnold, B., Freeze, G., Swift, P., Bauer, S., Kanney, J., Rechard, R., Stein, J., 2009. Deep borehole disposal of high-level radioactive waste. (No. SAND2009-4401, 985495). <https://doi.org/10.2172/985495>
- [8] Freeze, G. A., Stein, E., Price, L. L., MacKinnon, R. J., Tillman, J. B., 2016. Deep Borehole Disposal Safety Analysis. United States: N. p., Web. doi:10.2172/1330929.
- [9] Arnold, B., Brady, P., Bauer, S., Herrick, C., Pye, S., Finger, J., 2011. Reference design and operations for deep borehole disposal of high-level radioactive waste. (No. SAND2011-6749, 1029790). <https://doi.org/10.2172/1029790>
- [10] Muller, R.A., Finsterle, S., Grimsich, J., Baltzer, R., Muller, E.A., Rector, J.W., Payer, J., Apps, J., 2019. Disposal of High-Level Nuclear Waste in Deep Horizontal Drillholes. *Energies* 12, 2052. <https://doi.org/10.3390/en12112052>
- [11] Knox, E., Duggan, W., 2024. Cost Comparison for Deep Borehole Disposal as an Alternative to a Mined Repository (Paper 24820). WM2024 Conference, March 10–14, 2024, Phoenix, Arizona, USA. Amentum.
- [12] Mehar, K., Kumar, D. P., Jena, S. P., Rai, K., Jain, M., Sandeep, G. M., Vasanthaseelan, S., Singh, R. P. (2026). Next generation nuclear waste management: Geological repositories, emerging technologies, and global pathways. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 21, 101042. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2026.101042>
- [13] Kukkonen, I.T. (Ed.), 2011. Outokumpu deep drilling project: 2003 - 2010, Special paper / Geological Survey of Finland. Geological Survey of Finland, Espoo.
- [14] Soler, J. M., Kekäläinen, P., Pulkkanen, V. M., Moreno, L., Iraola, A., Trincherro, P., Hokr, M., Říha, J., Havlová, V., Trpkošová, D., Vetešník, A., Vopálka, D., Gvoždík, L., Milický, M., Polák, M., Fukatsu, Y., Ito, T., Tachi, Y. et al., (2023). Predictive and Inverse Modeling of a Radionuclide Diffusion Experiment in Crystalline Rock at ONKALO (Finland). *Nuclear Technology*, 209(11), 1765-1784. <https://doi.org/10.1080/00295450.2023.2209234>
- [15] Appelo, C. A. J., Postma, D. J. (2005) *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. 2nd Edition, CRC Press/Balkema, Rotterdam.

KIRJOITTAJA



FM Anita Fabritius
Väitöskirjatutkija (kemia ja
molekyylitieteet)
Helsingin yliopisto
anita.fabritius@helsinki.fi

Master's Thesis

APPLICABILITY OF NURES[®] ION EXCHANGE MATERIALS FOR HOLISTIC RADIOACTIVE LIQUID WASTE TREATMENT

Weronika Maria Wojnicka
Fortum Power and Heat Oy

Ion exchange materials are an attractive option for treating radioactive liquids. They can remove unwanted elements from complex solutions. Consequently, they reduce the volume of waste to be disposed, lowering environmental burden and contributing to cost savings associated with final disposal of radioactive wastes. This thesis explored the effectiveness of three NURES[®] ion exchange materials in removing radioactive uranium, thorium, plutonium, americium, and toxic arsenic. Their removal was tested through batch experiments in a pH range of 1–9. Results indicate effective removal of the elements of interest, with best outcomes around pH 6–7.

Ioninvaihtomateriaalit ovat houkutteleva vaihtoehto radioaktiivisten nesteiden käsittelyyn. Niillä voidaan poistaa ei-toivottuja alkuaineita monimutkaisista liuoksista. Tällä vähennetään loppusijoitettavan jätteen määrää, mikä on ympäristölle ystävällisempää ja alentaa radioaktiivisten jätteiden loppusijoitukseen liittyviä kustannuksia. Tässä diplomityössä tutkittiin kolmen NURES[®]-ioninvaihtomateriaalin tehokkuutta radioaktiivisen uraanin, toriumin, plutoniumin, amerikumien ja myrkyllisen arseenin poistamisessa. Niiden poistoa testattiin pH-alueella 1–9. Tulokset osoittavat tarkastelun kohteena olevien alkuaineiden tehokkaan poiston, ja parhaat tulokset saavutetaan noin pH-alueella 6–7.

Nuclear energy is an attractive source of carbon-free electricity. However, its production results in radioactive waste which necessitates careful handling, disposal, and storage in order to ensure human and environmental safety. The nuclear in-

dustry has strict and demanding regulations, raising the need for specialized solutions in waste management, and materials which can withstand challenging radioactive conditions and obtain required clearance levels. Fortum Power and Heat Oy of-

fers four nuclide removal system materials (NURES[®]), presented in Figure 1, that are based on inorganic ion exchange technology and can extract even trace amounts of elements from liquids.

The research objective of this thesis was to expand the application scope of the NURES[®] ion exchange materials to a wider range of elements and to determine the optimal pH conditions for removing the tested elements with NURES[®]. This work focused on three NURES[®] materials, CoTreat[®] based on titanium oxide, CsTreat[®] based on hexacyanoferrate, and SbTreat[®] based on zirconium oxide structure, and how effectively they can capture radioactive uranium, thorium, plutonium, americium, and the toxic element arsenic.

Ion Exchange Materials

Ion exchange materials have the ability to extract specific elements from various mixtures and thus can serve as an effective solution for purifying liquids of unwanted contents. Nuclear power plants (NPP) are amongst the most popular application scopes for using ion exchange materials. Within these power plants, ion exchangers can serve different purposes such as extraction of unwanted elements during operation, water chemistry control, and radioactive liquid waste treatment. [1]

Various ion exchange material types exist, with some of the more common types including, for example, zeolites, hexacyanoferrates, silicotitanates, titanates, and zirconium oxides. Ion exchange materials can be divided into two main types, organic and inorganic, both of which are used in the nuclear industry for specific purposes. [2]

Different properties are needed from exchangers, depending on their purpose. However, some common characteristics of effective exchangers include, for example, a fast exchange rate, physical and chemical stability, high ion exchange capacity, and a hydrophilic structure [3]. Such features minimize the amount needed of the ion exchange materials and extend their operational timespan, consequently leading to lower costs of logistics and disposal.

Fortum's inorganic NURES[®] materials have been developed together with the University of Helsinki taking the radioactive waste management requirements and challenges into consideration. These products have been used in over 50 locations around the world since 1991, with some examples being the Loviisa NPP, Fukushima Daiichi NPP, Grafenrheinfeld NPP, and the Duferco La Louvière steel plant. [4] In addi-

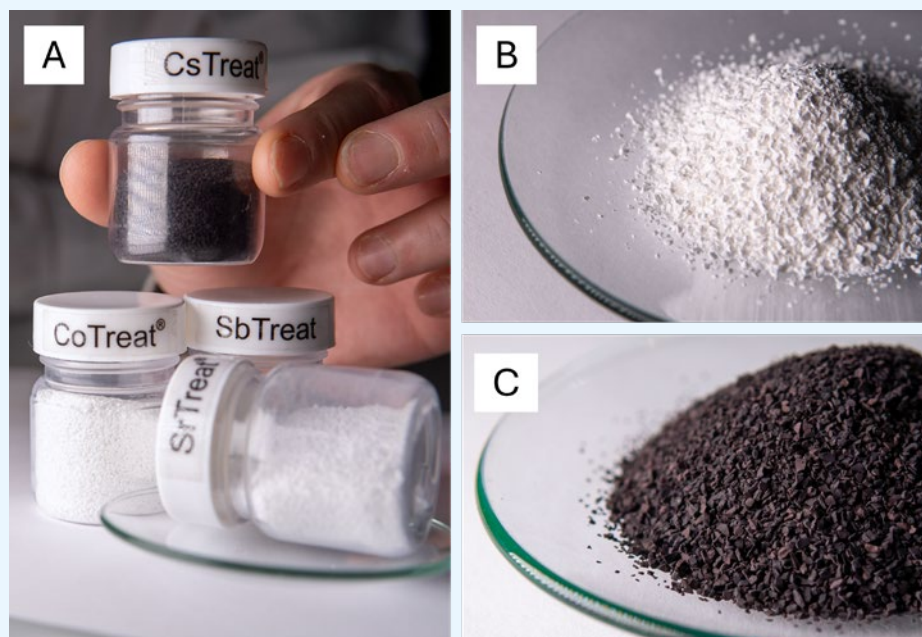


Figure 1. Photos showing the NURES® products (image A). Image B shows the granules of CoTreat®, SrTreat®, or SbTreat®. Image C shows the granules of CsTreat®.

tion, their inorganic nature has several advantages compared to the more commonly used organic ion exchangers, such as better selectivity, radiation tolerance, and safety for final disposal [2, 5].

Ion Exchange Reaction

An ion exchange reaction is an exchange of ions between a solid phase, which is the ion exchange material, and a solution which surrounds that solid material. The solid exchange material is not soluble in the medium in which the exchange reaction happens. This reaction may be reversible for some materials, depending on their

structure, composition, and mechanism of exchange. [3]

Charge is a crucial concept in ion exchange, because the reaction depends on the attraction between the ions of opposite charges. Therefore, it is important to understand what affects charge and how, so that it could be controlled and used for the benefit of the reactions. Conditions to which an element is exposed to can affect this, with one example being the pH level, which can change the chemical form of an element. [3] In addition to the ion exchange concept, there are other phenomena which affect the ion exchange mechanism, and thus it should be interpreted

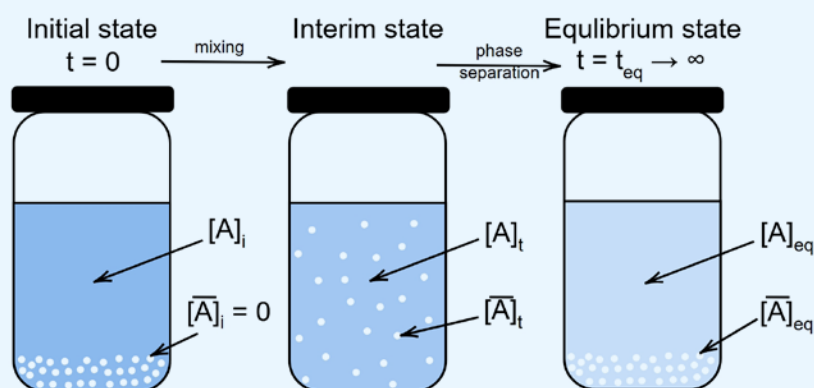


Figure 2. A schematic representation of batch experiments, where the ion exchange granules are shown as white circles submerged in a blue solution. $[A]$ indicates the concentration of an analyte in a solution and in an ion exchanger.

through several systems for a holistic understanding.

Chemical Speciation and Batch Experiments

Before starting the laboratory experiments, an investigation was made of the chemical speciation of the different elements which were later attempted to be removed with NURES®. Chemical speciation of the different elements was modelled under different acidic and alkaline conditions to determine the various forms of an element present at different pH levels [5]. This was done to gain a better understanding of what pH would be most suitable for removing each element and to what chemical species it corresponds, as different chemical forms of an element affect its adsorption and interaction with NURES®.

Following chemical speciation, laboratory experiments were carried out using the batch method, presented in Figure 2. This approach is simple and fast yet effective for testing ion exchange under a wide range of conditions such as pH, competing elements, and salt concentrations. This method includes preparing the necessary solutions, adjusting pH values, mixing the solutions with the ion exchange granules for three days in the case of this thesis, and lastly measuring the resulting concentrations. Comparing the final result to the initial values allows to calculate the effectiveness of the ion exchangers.

Results and Significance

The results obtained in this thesis suggest effective extraction of radioactive uranium, thorium, plutonium, americium, and toxic arsenic using NURES®. The best results were achieved around pH 6-7, where the sorption percentages were close to the theoretical maximum of 100%, mostly >99%, indicating nearly complete removal of the target elements. The most effective removals were achieved with the following combinations of elements and NURES® materials: arsenic with SbTreat®, plutonium with CoTreat®, americium with CoTreat®, uranium with SbTreat® and CoTreat®, and thorium with SbTreat® and CoTreat®.

The obtainable extractions using NURES® are a result of a combination of multiple interactions, the major one being ion exchange. Other aspects which affect the removal performance include framework structure of the ion exchange material, chemical species of the elements being extracted together with their charge and size, and the isoelectric point defining the

charge of a material's surface [6, 7]. Other factors which affect this and are related more to the environment of the experiment include, for example, pH, competing elements, and the contact time of an ion exchange material with the surrounding solution [8, 9].

A comparison of these results has been made to other available materials, and it suggests that NURES® shows competitive performance, with extractions often higher and in wider pH ranges than what has been recorded with other materials. The NURES® ion exchange mate-

rials have various advantages compared to many other currently available materials such as high selectivity, radiation tolerance, physical and chemical stability, thermal resistance, and effective extraction even in solutions that contain high salt concentrations. NURES® also significantly reduces the volume of secondary waste, thereby reducing the environmental burden and contributing to cost savings of final disposal. [2] These properties are particularly beneficial in the nuclear industry, which is currently the main area of interest for the NURES® materials.

Developing the NURES® materials further should expand their capabilities and suitability for a wider range of applications. Advancements in this area might also contribute positively to public perception of nuclear energy by demonstrating ongoing improvements in the management of radioactive waste.

The master's thesis was approved at Aalto University School of Chemical Engineering on 28.8.2025.

REFERENCES

- [1] Zagorodni AA. Ion exchange materials: properties and applications. Elsevier, 2006
- [2] Lehto J, Koivula R, Leinonen H, Tusa E, and Harjula R. Removal of Radionuclides from Fukushima Daiichi Waste Effluents. *Separation & Purification Reviews* 2019; 48:122–42
- [3] Harland CE. Ion exchange: theory and practice. Royal Society of Chemistry, 2007
- [4] Harjula R, Lehto J, Tusa EH, and Paavola A. Industrial scale removal of cesium with hexacyanoferrate exchanger—process development. *Nuclear Technology* 1994; 107:272–8
- [5] Lehto J and Hou X. Chemistry and analysis of radionuclides: laboratory techniques and methodology. John Wiley & Sons, 2011
- [6] Feng ML, Sarma D, Qi XH, Du KZ, Huang XY, and Kanatzidis MG. Efficient removal and recovery of uranium by a layered organic–inorganic hybrid thioostannate. *Journal of the American Chemical Society* 2016; 138:12578–85
- [7] Kozłowski LP. IPC–isoelectric point calculator. *Biology Direct* 2016; 11:1–16
- [8] Harjula R, Lehto J, Paajanen A, Brodtkin L, Tusa E, and Selion O. Testing of highly selective CoTreat ion exchange media for the removal of radiocobalt and other activated corrosion product nuclides from NPP waste waters. *Proceedings of Waste Management* 1999; 99
- [9] Harjula R, Paajanen A, Lehto J, Tusa E, and Standring P. Testing of CoTreat inorganic ion exchange media for the removal of Co-60 from THORP pond water. *Proceedings of Waste Management, Tucson* 2003

AUTHOR



M.Sc. (Tech.) Weronika Maria Wojnicka

Sales Engineer, Nuclear Services
Fortum Power and Heat Oy
weronika.wojnicka@fortum.com

ULKOMAA

Ainakin 70 kuoli lentoturmassa

Los Angeles/Cerritos (Reuter-AP) Palokuntien ja poliisin pelastusmiehistöt jatkoivat maanantaina raivaustöitä ja ruumien etsintää Cerritosissa, noin 30 kilometriä Los Angelesin kansainvälisestä lentokentästä lounaaseen. Ainakin 70 ihmistä sai surmansa, kun kaksi lentokonetta sumunta-tilana Suomen aikaa törmäsi toisiinsa ja putosi Cerritosin asuialueelle.

lentoyhtiön DC-9-matkustajakone, toinen yksimootorinen Piper PA-28 -yksityskone. Kaikki koneissa mukana olleet saivat onnettomuudessa surmansa. Molemmista Los Angelesin matkalla olleista DC-yhdessäkoko oli 38 matkustajaa ja kuusi miehistön jäsentä, pikkukoneissa oli kolme ihmistä.

Toistaiseksi lentemättömistä syyistä tapahtuneen törmäyksen jälkeen koneet putosivat ylempään keskiluokan asuttamalle Cerritosin

pienialueelle. Kuusitoista taloa noin puolestoista nelökilometrin alueella syttyi tuleen ja yhdeksän ihmistä tuhoutui täysin. Ainakin kolme asukasta kuoli ja useat loukaantuivat, kertoivat raivaustyöntekijät maanantai-iltana. Selvemmän ihmistä oli yhä kateissa ja heidänkin uskottiin kuolleen.

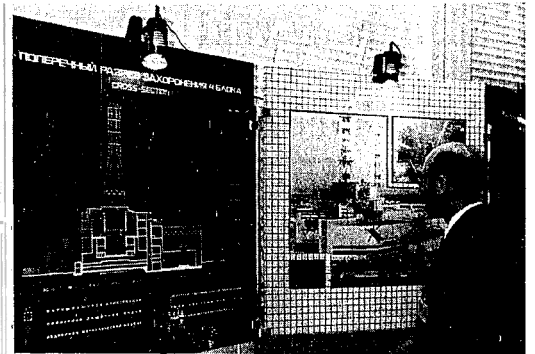
Viranomusten mukaan on kuitenkin ilme, että paikallista aikaa samupäivällä sattunut onnettomuus

vaistunut enempiä uhreja. Monet olivat viettämässä aurinkoisia vapaapäiviä rannoilla ja osa oli mennyt kirkkoon. Pikakone putosi koulun pihalle, mutta koska oli sunnuntai, koulu oli tyhjä. Vein 12 kilometrin päästä tuhohavainto on suosittu Disneylänän huvipuisto.

Meksikon lentoyhtiön Aeromexicon edustaja kertoi maanantaina Los Angelesissa, että matkustajakone oli laskeutunut ja parhail-

laan yhteydessä Los Angelesin lentojohtoon, kun törmäys tapahtui. Hänen mukaansa lentojohtoon ja pienkonen välillä ei tuolloin ollut yhteyttä. Matkustajakoneen lentokorkeus oli ollut 1 800 metriä, hän sanoo.

Aeromexicon kone oli ollut liikenteessä vain kuusi tai seitsemän vuotta ja sen lentäjä oli erittäin kokenut, meksikolainen uusia-



Kansainvälisen ydinenergiajärjestön IAEA:n kokouksessa esiteltiin suunnitelmia vaurioituneen Tshernobylin nelosreaktorin haudaukseksi.

Tshernobylin räjähdys voimaa on vaikea laskea

Tshernobylin onnettomuuden yhteydessä esiintynyttä räjähdysmäistä tehonousua ei ole pystytty

vieltämään täysin laskemaan. Wienin kokouksessa kotimaan palam- ja suomenalaisasiantuntijat kertoivat maanantaina, että neuvostoliittolaiset pyrkivät kokein selvittämään edelleen räjähdysvoimaa. Kokeissa räjähtäisiin samanlaisia polttoainesuorjia kuin onnettomuusreaktorissa oli.

Reaktorin tuhoon tuhospurkaus alkoi muutaman sekunnin kesiänteillä satakertaisella tehonousulla, ja koska teho ei päässyt siltymään murekkaan, polttoaine hajosi murusiksi. Kuumat muruset sekoittuivat jäähdytysveteen, ja seuranavaksi syntyi höyryräjähdys.

Suojajäkansi nousi paikaltaan

Laskevan alla oleva raju ydintehon kasvu on arvioitu jopa vakaaksi 1,5 miljoonaksi megawattiksi. Vertailuna voidaan pitää, että laitos pystyi tuottamaan sähköä 1 000 megawatin teholla. Tehoa kuvaa sekin, että reaktorin 1 000 tonnin painoinen betoninen suojajäkansi nousi paikaltaan.

Tämän jälkeen räjähti vielä muutaman sekunnin kuluttua uudelleen. Edelleen selvitetään, oliko viimeinen räjähdys höyryräjähdys, vai oliko siinäkin kyse ydinreaktiosta", kertoo vs. osastopäällikkö Jukka Laaksonen Säteilyturvakeskuksessa.

"Hautakammio" reaktorille

Neuvostoliittolaiset asiantuntijat ilmoittivat viime viikolla Wienin kokouksessa, että Tshernobylin reaktorille rakennetaan hautakam-

mio, jonka sisälle radioaktiiviset aineet eristetään.

Tuhoutuneen nelosreaktorin yhteydessä olleita, ohjiksi jätettä, 1. ja 2. yksikköä päästään käyttämään hautakammion valmistamisen jälkeen. Tuhoutuneen nelosyksikön kyljessä olevaa kolmosreaktoria päästään kunnostamaan sitä mukaa kun hautakammio valmistuu. Hautakammion on laskettu olevan valmis vuoden 1988 aikana.

Onnettomuusreaktorin polttoaineesta leviää lähtökäynnin lopulla satunnaisesti räjähdyskäsä miltä neljä prosenttia ympäristöön. Puolet päästöistä laskeutui 30 kilometrin säteellä lätköistä. Neuvostoliittolaisen mukaan saastuneelta alueelta korjataan sato, mutta sitä ei oteta suoraan ravintoksi. Viljaa käytetään siemenvaijaksi ja kemiallisen tuotantoon.

Tarkistukset syksyn kuluessa

Säteilyturvakeskuksen mukaan suomalaisissa ydinvoimaloissa ei ole toistaiseksi todettu sellaisia puutteita, jotka pitäisi korjata Tshernobylin antaman opetuksen perusteella.

Syksyn kuluessa tehdään kuitenkin tarkistuksia, joissa kiinnitetään huomiota mm. siihen, miten reaktorit käytättyvät matalalla teholla.

Tshernobylin tapauksessa reaktorin teho nousi kahdeksan kertaa normaaliin juuri, kun teho oli hyvin alhainen. Samoin varmistetaan, etteivät käyttäjät voi tahallisesti kytkä päälle laitoksen turvallisuuden kannalta tärkeitä automaattisia järjestelmiä ilman, että reaktori pysähtyy.

RISTO VALKEAPÄÄ

ENNENNÄKEMÄTÖNTÄ!

Kehykset ilmaiseksi kun ostat meiltä niihin linssit.

- Kerrallaan esillä yli 700 kehiksen valikoima, miehille, naisille ja lapsille.
- Tule jo tänään, sillä tarjous on voimassa vain niin kauan kuin varasto riittää.
- Silmälasireseptit mukaan. (Ei ilmaisia näöntarkastuksia).

Palvelemme ma-pe klo 9-18.00.

P.S. Kaikki kesän aurinkolasit nyt 50,-

Vin kerroksen

OPTIKOT

Vuorikatu 8 A, 3. krs

UUSINTA UUTTA!

Syksyn muoti- ja merkki-kehukset -20%

- Piloilasivulukset ja näöntarkastukset vain ajanvarauksella. Varaa aika puh. 608 979.
- Piloilasit alkeen 600,-

Optikko

Alf Andersson

Vuorikatu 8 A, 3. krs

ARKISTOLÖYDÖT HERÄTTIVÄT MUISTELEMAAN

Pengoin arkistojani ja eteeni osui yli 50 vuotta vanhan valokuvan kopio. Uusimaa-lehden kopisti vedosti sen toukokuussa 1975.

Teksti: Risto Valkeapää

Lähteet: Risto Valkeapään arkistot



Risto Valkeapää

Tietokirjailija
risto.valkeapaa@gmail.com

Vein kellastuneen vanhan kuvan skannattavaksi kotkalaiseen valokuva-liikkeeseen, ja digitoinnin tulos näkyi ohessa. Kuvassa on Loviisan atomivoimalaitoksen työmaa. Siis "atomivoimalaitoksen", sillä tuohon aikaan Suomessa puhuttiin atomista ja Loviisa oli "atomikaupunki". Ydinvoima-sana yleisty kansainvälisesti jo 1970-luvulla, mutta Suomessa sen käyttö yleisty vasta 1980-luvulla.

Kuva oli kamerastani, mutta en ollut itse painanut laukaisijaa. Sen teki säämatoon kiivennyt huoltomies. Minua ei mastoon päästetty, mutta hän suostui ystävällisesti ottamaan kuvan. Mies ei halunnut julkisuuteen.

Kun lähdin Uusimaa-lehdestä vuonna 1979 sain kaikki filmit ja kuvakopiot mukaani, koska minulla oli niihin tekijänoikeus. Vanhan kuvan löytyminen toimi kuin laulun "isoisän olkihattu". Se herätti muistot elämään. Tämä kolumni perustuu ar-

kistojeni vanhoihin arkistojen kuviin ja juttuihin.

SUHTEET KUNNOSSA MAAILMALLE

Suurvaltapolitiittinen maailma oli kuvan ottohetkellä sellainen, että Suomi oli hyvissä väleissä Neuvostoliiton kanssa. Presidentti Urho Kekkonen, UKK, oli onnistunut hoitamaan välinsä myös Yhdysvaltoihin. ETYK-kokouksessa Helsingissä olivat mukana maailman mahdit.

Suomi oli allekirjoittanut ydinsulkusopimuksen vuonna 1970. Olimme keskittyneet ydinvoiman rauhanomaiseen käyttöön. Aseintoilijoita ei juurikaan ollut. Kekkonen ja naapurimaan Olof Palme puhuivat ydinaseettomasta Pohjolasta.

Suomi osallistui kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n toimintaan. Meillä

oli koulutusyhteistyötä sekä Yhdysvaltojen, Ruotsin, Iso-Britannian että Neuvostoliiton kanssa. Ruotsi oli Loviisan atomivoimalan kannalta erityisen tärkeä Neuvostoliiton ohella. Vuonna 1973 oli Ruotsista ostettu Suomeen AB Kärnkraftutbildningin (AKU) koulutuspaketti.

Ruotsalaisoppi kytki Suomea osaltaan läntiseen ydinvoiman turvallisuusajatteluun. Suomenruotsalainen Björn Wahlström veti Imatran Voimassa koulutusta. Hän oli lahjakas matemaatikko ja fyysikko.

Loviisan päällikkö Anders Palmgren oli ollut opissa sekä Westinghouseella että Atomenergoexportilla. Loviisan asiantuntijat olivat saaneet koulutusta myös Novovoroneshissa. Jos ajatellaan nyky maailmaa, niin tuolloin elettiin paljon avoimemmassa asiantuntijailmapiiressä. Tämän päivän sotaisassa maailmassa Loviisan kaltainen projekti olisi mahdollonta saada alulle, saati sitten toteuttaa.

KAUPPAMIES, RAKENTAJAT, VALVOJAT JA REPORTTERI

Suomella oli presidenttinä kansainvälisen luokan kauppamies. UKK havitteli suuria työllistäjiä kuten Kostamuksen projektia ja terästehdasinvestointeja Raaheen.



STUKin pääjohtaja Antti Vuorinen
Olkiluodossa (kuva: Risto Valkeapää).

Kekkonen oli myös apuna itse Loviisan projektissa pitäen yhteyksiä neuvostojohtoon. Projektin vauhdittajaksi saatiin Venäjältä muun muassa Vladimir Nevsky, jolla oli kyky saada asioita sujumaan. Suomessa projektipäällikkö Kalevi Numminen piti puolestaan lankoja käsissään.

Imatran Voiman projektihenkilöt olivat nuoria. Projektiryhmää ruvettiin sanomaan oravakompaniaksi.

Tutustuin suomalaisiin projekti-ihmiisiin. Venäläisiin en saanut kontaktia ennen kuin 1980-luvulla. Andersin ohella hyvinkin tutuiksi tulivat "Nalle" Wahlström, Antero Tamminen, Antti Autio ja kakkos-

yksikön projektipäälliköksi tullut Kalervo Nurmimäki.

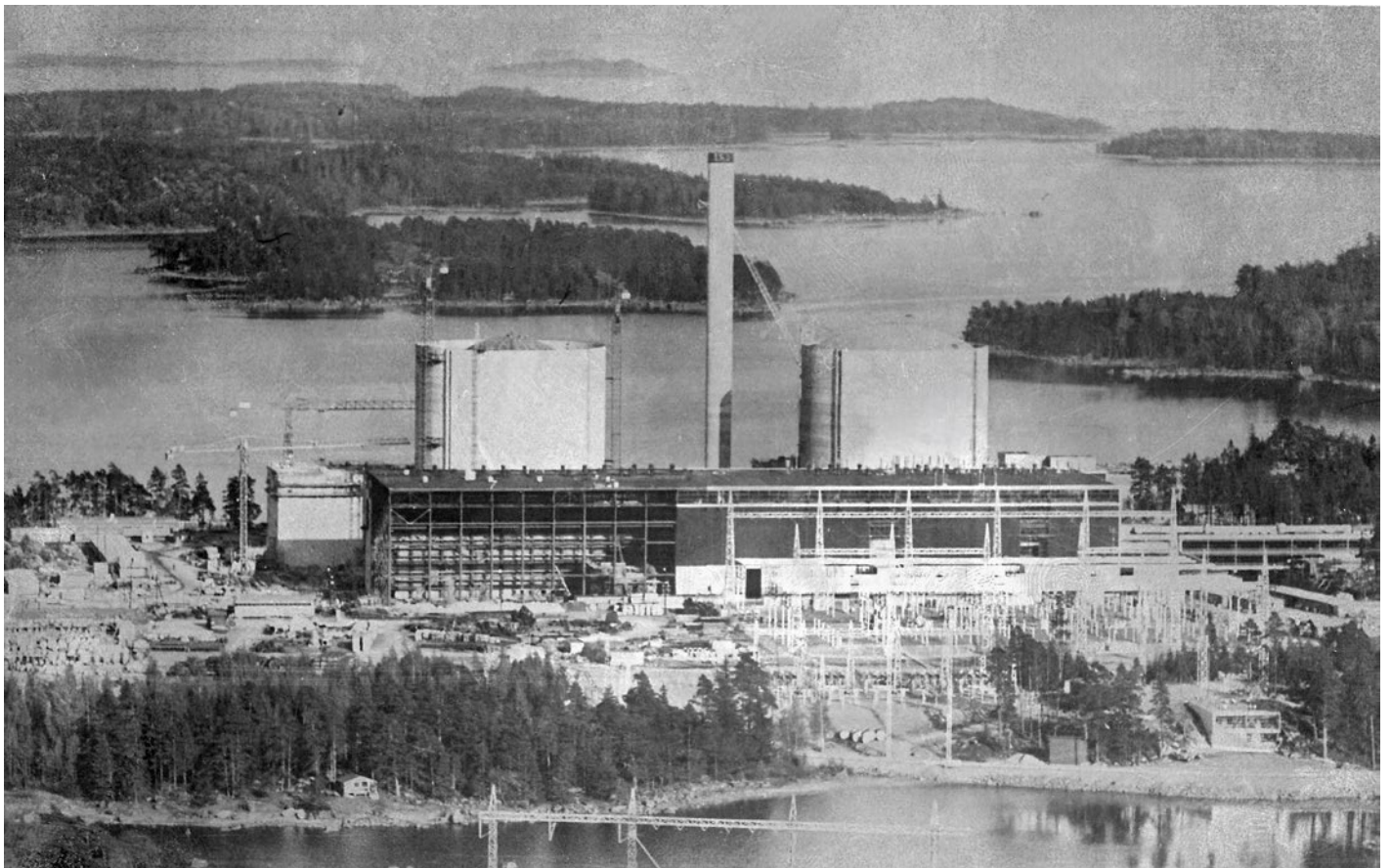
Säteilyturvallisuuslaitoksella tutustuin Antti Vuoriseen ja Jukka Laaksoseen. Suomen ensimmäinen turvallisuusviranomaisena oli ollut tekniikan lisensiaatti Olavi Vapaavuori. Olavi oli mentorini ydinvoima-asioissa.

Vuonna 1980 alkukesästä Helsingin Sanomat julkaisi sivun laajuisen juttuni Loviisan ydinvoimalan paineastian haurastumisesta. Siitä oikeastaan alkoi urani ydinvoimajournalistina.

PAINEASTIAN ONGELMA

Paineastia oli tehty sopimaan kuljetettavaksi Neuvostoliiton rautateillä, mistä seurasi se, että painastian ja reaktorisydämen välinen vesitila jäi suhteellisen pieneksi. Neutronivuo vaikutti metallin kiderakenteeseen ajan mittaan epäsuotuisasti. Paineastian laatua heikensi reaktorisydämen lähellä olevan hitsausauman epäpuhtauksiksi luokitellut kupari ja fosfori. Sama riesa oli muissakin VVER-440-reaktoreissa.

Suomessa turvallisuusviranomaiset ja VTT olivat perillä paineastian ongelmasta. Sitä oli tutkittu jo vuonna 1975 eli reilusti ennen Loviisa 1:n käynnistämistä, mutta



haurastumisesta saatiin oma-kohtainen näyttö sen jälkeen, kun Loviisa 1:n paineastian sisällä olleet koepalat oli saatu tutkituiksi VTT:llä.

Haurastuminen saatiin hidastumaan lataamalla reaktorin reunimmaisten polttoainepipujen tilalle dummy-elementtejä. Ne olivat teräselementtejä, jotka rajoittivat reaktoripaineastian seinään kohdistunutta neutronisäteilyä. Näistä kaikista asioista riitti kirjoitettavaa vuosikausiksi myös kansainvälisiin julkaisuihin kuten Nucleonics Week -uutiskirjeeseen.

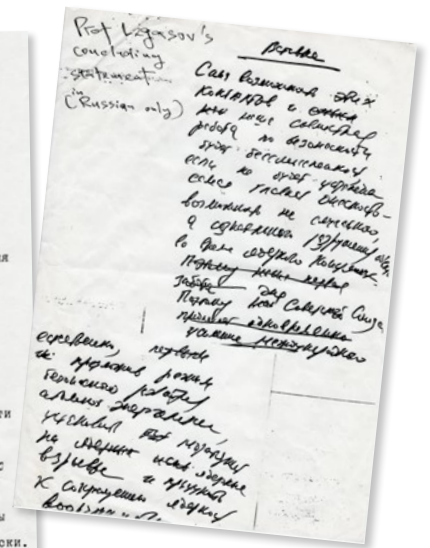
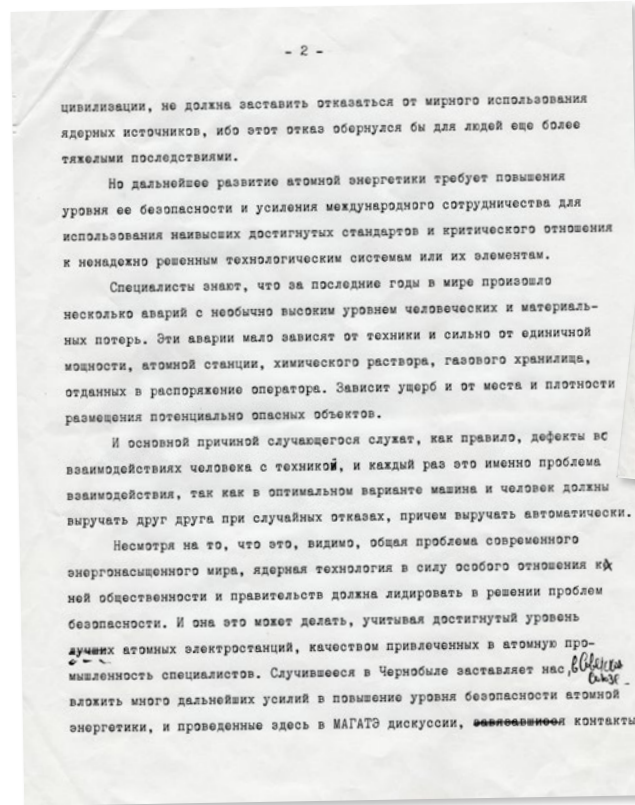
POHJOISMAISTA YDINVOIMAHISTORIAA

Käteeni osui arkistostani myös Helsingin Sanomien valokuvajan Osmo Päivisen Forsmarkin ydinvoimalassa ottama kuva, jossa seisomme Tapani Graaen (1942–1923) kanssa valkoisissa ydinvoimayhtiön haalareissa ja kypärät päässä. Se on ydinvoimalan vierailijan varustus. Kuva on 1980-luvun alusta.

Pidimme Tapanin kanssa yhteyttä. Hän myös suosittelee minua ATS:n jäseneksi. Helmikuussa 1986 kävin pohjoismaisella juttumatkalla Västeråsissa Tapani Graaen luona. Tapani oli Ruotsissa monipuolisissa myyntitehtävissä. Hän oli muun muassa Asea-Atomim myyntimiehenä kaupannut Secure-lämmitys ydinvoimalaa Helsingille.

Paransimme illalla Bastugatan 3:ssa maailmaa. Taisimme arvostella Ruotsin pääministeriä Olof Palmea, jonka aloitteesta edellisen vuosikymmenen lopulla oli järjestetty kansanäänestys ydinvoiman jatkokäytöstä. Palmen mielestä politiikka oli tahtomista ja tahdon toteuttamista. Poliitikkojen tahto pohjoismaisesta yhteistyöstä ja Ruotsin teollisuuden tahto olivat erilaisia.

Toukokuussa 1975 otetussa kuvassa ovat Loviisan molempien laitosyksiköiden reaktorirakennukset lähes valmiina. Niistä ykkösyksiköllä on katto päällään, paineastia sisällä ja käyttöönottovaihe menossa (kuva: Risto Valkeapää).



Otteita Valeri Legasovin IAEA-puheesta elokuussa 1986 (kuva: Risto Valkeapää).

Palme oli vuosikausia tahtonut turvata Ruotsia kehittämällä ydinasetta. Marvikenin ydinvoimalassa piti tuottaa siihen tarkoitukseen plutoniumia. Norjasta ostettiin moderaattoriksi raskasta vettä ja rakennettiin 23,5 metriä korkea reaktorisäiliö.

Ruotsissa oli salainen ydinaseohjelma, oli ollut jo vuodesta 1950. Ruotsalaisilla oli paljon tietoa ydinaseista. Salaista ohjelmaa jatkettiin vielä 1970-luvulle.

POSITIIVINEN AUKKOKERROIN LOPETTI OHJELMAN

Turvallisuusviranomaiset olivat jo 1960-luvulla todenneet, että Marvikenin reaktorissa oli suuri turvallisuusriski. Siinä oli reaktiivisuuden positiivisen aukkokertoimen mahdollisuus, eikä sitä siksi koskaan laaduttu luonnonuraanipolttoaineella, kuten oli aiottu. Tshernobylistä tultaisiin huhtikuussa 1986 kokemaan, mitä positiivisen aukkokertoimen riski merkitsi.

Ruotsi allekirjoitti ydinsulkusopimuksen vuonna 1968. Suomi ratifioi vastaavan sopimuksen vuonna 1970 sen jälkeen, kun ydinasevaltiot olivat allekirjoittaneet sopimuksen.

Tapani heitti minut Volvo-farmarillaan lentokentälle. Lensin Kööpenhaminaan ja

sieltä Stavangeriin tapaamaan Norjan öljyasiantuntijoita. Palasin loppuviikosta kotiin Porvooseen. Ruotsin pääministeri Olof Palme murhattiin ampuamalla perjantaina 28. helmikuuta 1986 kello 23.21 Tukholman ydinkeskustassa. Ampuja pakeni paikalta.

Sain tiedon Palmen murhasta lauantaiaamulla. Keskityin kuitenkin oikeustoimittajan työhön Helsingissä, kunnes tapahtui jälleen järkyttäviä asioita.

TSHERNOBYLIN ONNETTOMUUSTIETO SAAPUI

Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuus tapahtui lauantaiaamuyöllä huhtikuun 26. päivänä vuonna 1986. Onnettomuuden yhteydessä suuria määriä radioaktiivisia aineita kohosi räjähdysten ja tulipalon voimasta yli kilometrin korkeudelle. Tällä korkeudella tuulet puhalsivat aluksi Ruotsin eteläisimpiä osia kohti.

Aloitin työskentelyn maanantaiaamuna 28. huhtikuuta Ludviginkadulla Helsingin Sanomien toimituksessa autuaan tietämättömänä Ukrainan tapahtumista. Asuin Porvoossa, kuljin työmatkat bussilla, työpisteeni oli "Luddalla". Työskentelin lehden oikeustoimittajana.

Aloitimme työviikkoa kahvimukit käsissä keskustellen viikonlopun tapah-



Tapani Graae ja kirjoittaja vierailulla Forsmarkissa 1980-luvun alussa (kuva: Osmo Päivinen).

tumista kollegani rikostoimittaja Harri Nykäsen kanssa. Olin käynyt jo aamulla hovioukeuden kirjaamossa. Sain sieltä päätöksen asuntohallituksen toimistöpäällikköä Markku Hainaria koskeneessa jutussa. Rupesin lukemaan mutkikasta päätöstä.

Olin alkanut kirjoittaa juttua, kun uutispäällikkö Pentti Teirisalo tuli kertomaan, että Ruotsissa on Forsmarkin ydinvoimalassa havaittu säteilyä. Kohta hän tuli kertomaan, että myös Olkiluodossa oli havaittu säteilyä.

Myöhemmin sain tietää, että STUK sai tiedon Tshernobylin onnettomuuden aiheuttamista Ruotsin ilmatilassa olevista radioaktiivisista aineista juuri niihin samoihin aikoihin eli noin kello 10. Forsmarkissa säteily havaittiin, kun laitoksen katolla käyneet työntekijät kävelivät laitoksesta poistuessaan säteilymittauspisteen kautta. Heillä oli ilmeisesti säteilevää laskeumaa vaatteissaan ja jalkineissaan.

Ruotsin päällä ilmamassat olivat laskeutuneet hieman aiemmin kuin Suomessa. Siellä kohonneet radioaktiivisuuspitoisuudet huomattiin ennen kuin Suomessa.

Forsmarkin ydinvoimalaitoksella luultiin siis ensin, että laitoksella itsellään oli radioaktiivinen vuoto. Tästä syystä laitoksen koko henkilökuntaa alettiin evakuoida ja havainto evakuoinnista johti tiedon tuloon julkisuuteen. Forsmarkin laitoksen en-

sikäsitys säteilyn lähteestä osoittautui sittemmin vääräksi.

Ami Rastas selvitti TVO:ssa säteilyasiaa Forsmarkin kanssa. Hänelle alkoi tilanne hahmottua aika pian.

LYHYTIKÄISIÄ ISOTOOPPEJA

Uutispäällikkö Teirisalo yritti päästä Hesarissa kiinni asiaan. Kysyin Teirisalolta, onko tietoa, siitä mitä isotooppeja on sekä Ruotsissa että Suomessa havaittu. Oli havaittu jodi-131:tä ja cesium-isotooppeja. Lyhytikäisen jodin näkyminen ilmassa osoitti, että kyseessä oli päästö juuri käytössä olleesta reaktorista. Sen tiesin jo ennestään.

Kysyin, mistä päin tuuli kävi. Teirisalo kertoi, että jostakin Keski-Venäjältä. Taisin sanoa ääneen, että siellä on tapahtunut ydinvoimalaonnettomuus.

Minulta meni aivoissa pasmat sekaisin. Tunsin velvollisuuden hoitaa Hainarin hovioukeusjutun kirjoitus valmiiksi, mutta samaan aikaan tajuntaani nousi paljon suurempia eli ymmärrys ydinvoimakatastrofista.

Kirjoitin Hainarin jutun loppuun. Pääsin iltapäivällä syventymään onnettomuusasiaan. Päivän mittaan uutisia saatiin toimituksellisesti jotenkin hallintaan ja tapahtumien kulku alkoi selvitä. Kotona Porvoossa näin illalla television uutislähetyksestä, mitä oli tapahtunut.

Olin soittanut kotiin, jossa lapset olivat olleet ulkona hellepäivänä. Bussissa kuvittelin tuntevani kilpirauhasessa jotakin erikoista. Harmittelin, etten osannut kommenttaa lapsia sisälle.

ENSIMMÄISET ONNETTOMUUSANALYYSIT

Jukka Laaksonen STUKista antoi televisiossa seuraavan päivän iltana hyvän analyysin onnettomuudesta. Analyysi oli tehty STUKissa seuraavana päivänä, kun oli saatu illan uutisista tieto onnettomuusreaktorin nimestä ja perehdytty sen tyyppisen reaktorin ominaisuuksiin. Jukka Laaksonen oli asiantuntija, jota kuultiin jatkossa myös kansainvälisesti grafiittihidasteisen 1000 MW:n voimalaitoksen turvallisuusriskeistä.

Suurimmillaan radioaktiivisten aineiden pitoisuudet olivat Suomessa illalla 28. huhtikuuta. Ilmasta mitattiin yli 30 radioaktiivista ainetta.

Suurin osa radioaktiivisista aineista huuhdoutui alas sateen mukana, sillä muutaman kymmenen kilometrin levyisellä Lounais-Suomesta Kainuuseen suuntautuneella vyöhykkeellä, jonka yli radioaktiivisia aineista sisältänyt pilvi kulki. Sateiden määrä ja voimakkuus vaihtelivat eri puolilla Suomea, joten maan pinnalle tulleiden radioaktiivisten aineiden määrä vaihteli tuntuvasti.

Laskeuman mukana tuli paljon melko lyhytikäisiä radioaktiivisia aineita, jotka hävisivät luonnosta jo muutamien päivien tai kuukausien kuluessa. Pitkällä aikavälillä säteilyannosten kannalta tärkeimmät aineet ovat cesiumin radioaktiiviset isotoopit eli cesium-137 ja cesium-134. Ensin mainitun puoliintumisaika on 30 vuotta ja jälkimmäisen noin kaksi vuotta.

Sienipaikalleni Ruotsinpyhtäällä oli sananut, joten olen saanut osani Tshernobylistä.

LEGASOVIN PAPERIT ANTOIVAT MIETTIMISEN AIHETTA

Arkistostani löytyi kellastunut valokopio, jossa luki "Prof. Legasov's concluding statement (Russian only)". Olin ottanut kolmisivuisen kopion talteen Wienissä pidetyn Tshernobylin seurantakokouksen jälkeen lehdistöhuoneesta Neuvostoliiton esityksien kaukalosta elokuussa 1986.

En ymmärtänyt sen sisällöstä yhtään mitään, joten jätin sen käännettäväksi venäjän kielen taitajille. Käsini kirjoitetussa osuudessa Legasov pyrkii siirtämään huomion ydinvoimalaitosonnettomuudesta ydinaseiden riskeihin, joita hän piti tärkeämpinä, ja ehdottaa ponnisteluja ydinaseiden vähentämiseksi.

IAEA:n järjestämän Tshernobylin seurantakokouksen päähenkilönä oli Valeri Aleksejevits Legasov (1936–1988). Legasov oli Neuvostoliiton puolelta nimetty Tshernobylin onnettomuuden tutkinnan

johtaja. Hän piti tilaisuudessa kahtena päivänä seikkaperäiset ja uskottavat esitykset onnettomuuden kulusta ja todetuista terveyshaitoista erityisesti työntekijöille. Kokouksen osanottajat olivat ihmeissään, miten yksi henkilö jaksoi pitää niin pitkät esitykset.

Minulle jäi kokouksesta käsitys, että Legasov kamppaili mielessään, mitä voisi sanoa tietämänsä reaktorifysiikan mukaisen totuuden ja neuvostovallan virallisen "totuuden" yhdistelmästä. "Neuvostoliiton Sankarin" titteli olisi ollut hänelle kunnia-arvo, mutta sen saavuttaminen oli kiinni siitä, hyväksyisikö hän ja esittäisi julkisesti Neuvostoliiton korkeimman poliittisen johdon määrittelemän "totuuden" onnettomuuden syistä. Hän oli esiintynyt jo kansainvälisessä mediassa avoimesti, mistä ei pidetty Neuvostoliiton korkeimmas- sa johdossa.

Keskeinen omantunnon kysymys Legasoville oli, aiheutuiko onnettomuus käyttöhenkilökunnan virheistä vai neuvostojärjestelmän hyväksymän grafiittihidasteisen 1 000 megawatin reaktorityypin perusominaisuuksista. Jos onnettomuus olisi aiheutunut neuvostojärjestelmän hyväksymistä laitostyyppien perusominaisuuksista, laitoksen käyttäjät eivät olisi olleet onnettomuustilanteessa ainakaan pääsyyllisiä.

Fyysikot tiesivät, että Tshernobylin ydinvoimalan reaktorissa oli positiivisen aukkokerroimen riski. Käytännössä se merkitsi sitä, että reaktori ei ollut kaikissa käyttöolosuhteissa hallittavissa. Se tuli

esiin myös heti alussa elokuun Wienin kokouksessa.

Mutta oliko ollut rangaistavaa laitoksen käyttöhenkilökunnan kannalta, että he eivät hallinneet reaktorityypin rakenteellista riskiä. Se oli hyvä kysymys, ja Neuvostoliitossa se oli valtakysymys.

Ruotsin Marvikenissä vastaavaan positiivisen aukkokerroimen riskiin havahduttaminen keskeytti kyseisen projektin jo 1960-luvulla, koska läntisen turvallisuusajattelun kannalta asia näytti selvältä. Neuvostoliitossa riski kuitenkin hyväksyttiin.

"EPÄLUOTETTAVASTI TOTEUTETTUIHIN JÄRJESTELMIIN VAHVISTETTAVA KRIITTISTÄ SUHTAUTUMISTA"

Legasovin jättämässä tekstissä luki suomeksi käännettynä: "On myös vahvistettava kriittistä suhtautumista epäluotettavasti toteutettuihin järjestelmiin ja niiden elementteihin."

Legasov viittasi yleisesti teknologiaonnettomuuksiin: "Nämä onnettomuudet eivät johdu tekniikasta tai yksittäisestä tehosta, atomivoimalasta, kemiallisesta seoksesta tai kaasusäiliöstä, jotka on annettu operaattorin käyttöön. Vahinko johtuu myös paikasta ja siitä, että mahdolliset vaaralliset kohteet on sijoitettu tiheästi.

Tapahtumien perussyö on yleensä ihmisen ja tekniikan välisen yhteistyön puute, ja joka kerta se on nimenomaan yhdessä toimimisen ongelma, koska optimaalisessa tapauksessa ihmisen ja koneen pitää auttaa toisiaan häiriötilanteissa ja auttamisen on tapahduttava automaattisesti." Oliko kyse siis siitä, että ihmisellä ja koneella oli aikanaan jaettu vastuu Neuvostoliitossa?

Vuonna 1988 Legasov teki itsemurhan. ☹️



Olavi Vapaavuori ja Jukka Laaksonen Espoon Tapiolassa vuonna 2015 (kuva: Risto Valkeapää).

VIISAUDEN JÄLJILLÄ

ELÄMME UUTTA, tulevan viisauden aikaa. Yksi suurvallan johtaja puhuu rotista esikuvinaan ja toinen pilkkaa ja kiusaa kaikkia hänen kanssaan eri mieltä olevia. Kummankin varamies syyttää meitä eurooppalaisia raukoiksi ja rikollisiksi. Näitä puheita yritetään Suomessa yhä ymmärtää.

Monet suomalaiset ovat kunnostautuneet hyväuskoisina hölmöinä suurvaltujen ”Eurooppa jakoon”-pelissä. Pelasimme oman aikamme gladiaattoritaistelua eli KHL-jääkiekkoa sopivissa rooliasuissa - narripaidoissa. Onneksi presidenttimme eivät sentään ole halunneet diktaattorin lemmikkihiiriksi Unkarin Orbánin tapaan. Nyt sek in on ohi ja Unkari palaa osaksi Eurooppaa.

Jätetään Anot ja Villet etsimään uusia rooleja oligarkkien nukkeina. Ja laiteaan ikkunat auki Eurooppaan, Intiaan, Brasiliaan ja Kiinaan. Niissä on tulevaisuutemme. Ja aseteollisuudessa. Eurooppa, tuo paperijalkainen byrokratian suurvalta, alkaa ymmärtää sanonnan ”rautaa rajalle” merkityksen. Nopeasti liikkuvat legioonat olivat rauhan tae idän barbaareja vastaan jo vuosituhansia sitten.

SITTEN KOTIMAAN UUTISIIN. Korkeasti koulutettujen osuus Suomen nuorista aikuisista on pudonnut. Olemme tilaston pohjalla, Chilen ja Turkin tasolla. Korkeakoulutettujen määrän lasku voi olla syynä uusien innovaatioiden ja aloittavien yritysten vähenemiseen. Suomen peruskouluissa on oppilaita noin 470 000. Se on lähes 100 000 oppilasta vähemmän kuin vuosituhannen alussa. Perusopetuksen pakollisten tuntien määrä taas on OECD-maiden pienimpiä.

Oppilasta kohti käytetty raha on kaksinkertaistunut vuosituhannen alusta ja ikäluokat pienenevät jatkuvasti. Mihin kasvanut rahamäärä meni? Sijoituksemme Pisa-vertailussa huononee koko ajan. Luultavasti jatkossa kosiskellaan nuorten naisten ääniä ja lisärahaa kaadetaan alle kouluikäisten kasvatukseseen. Kuitenkin päiväkotien leikkijöiden ryhmäkoot ja lelujen

laatu ovat hyvällä, eduskuntaa vastaavalla tasolla. Kiusaamisen karsimisessa ja virheistä oppimisessa on vielä kehittämisen varaa molemmissa paikoissa.

Hallitusvastuuta odottavien oppositiojohtajien sekä kehityshenkilöstön armeijan mielestä koulutuksen tulokset paranevat vain jakamalla lisää rahaa. Tiedämme vanhusten hoitovirheiden taustalla olevan henkilöstön osaamattomuuden. Pitäisikö koulutuksen kehittäjät siirtää huolehtimaan vanhuksista? Näin kyky vaatia lisärahaa paranisi hoivapuolella ja kustannukset putoaisivat koulutuksessa. Nuorten liikunnan ja hoivakotien tilastoista voi löytää toisen yhtäläisyyden. Menojen kasvu voi johtua myös kohdehenkilöiden aiempaa huonommasta kunnosta.

SOTE-UUDISTUS OSOITTI valtavan julkisen sektorimme olevan hirviö. Sote-alueiden määrän ja henkilöstön karsimisyrittökset johtavat aina uusiin virkaportaisiin. Sote-uudistuksessa osa rahasta valui kunnille. Kaikissa muutoksissa iso tukku rahaa siirtyy eturyhmille. Korruption vähyyden mallimaan alueet huijaavat kerätyissä potilastiedoissa. Suorittavaan terveydenhuoltoon ei löydy rahaa. Lääkärin maine ohittaa vanhuksen hengen ja niin osa hoidoista on tarjolla vain nuoremmille.

Poistetaanko vanhukset vai vaihdetaan johtajat? Rahanjakoalueiden johto saa yritystason palkkaa. Heille siis kuuluisi yritysmallin vastuu: ”tulos tai ulos”. Silloin sote-kustannukset putoavat ilman julkista poliittista säätöä. Keski johdon tapauksille riittää niinsanottu Lindtman-ohjaus: henkilön siirto syrjään tehokkaamman tekemisen tieltä.

Verovaroista rahoitetaan myös yhdistyksiä ja niiden yhteistyhdistyksiä. Monien ainoa tehtävä on kamppailla virkamiesten lainsäädäntötyötä ja tehtailla lausuntoja tukien supistamisen epäoikeudenmukaisuudesta. Miksi yhdistysten rahaa ei käytetä suoraan lain laatimisen resursseihin? Kieroon lobbaukseen purisi vapaa tiedon-



Yrjö Ydin



Suomen valtiolaivan ohjaajat ovat avaamassa ikkunoita maailmalle.

välitys ja julkistamisen kulttuuri. Sen rakentaminen monopolien, hyväuskoisten ja vaikenemisen Suomeen on vaikeaa.

OLKILUOTO 3 SOVITTIIN vuonna 2002 reilun 3 miljardin hankkeeksi. Toteutuneet kustannukset olivat kolminkertaiset, vaikka maksaja ei ollut omistaja. Puolan, Tšekin, Hollannin ja Britannian ydinvoimahankkeet maksavat 10–20 miljardia euroa yksikköä kohti. Kallista on! Ydinvoimahankkeessa käy kuten aina rakentaessa. Rakentajalla on iso ja hulpea purjevene, jolle kuljetaan pienellä soutuveneellä. Soutuveneeseen nimi on ”Sopimus” ja purjevereen nimi on ”Muutokset”.

Ei kukaan vie tarjouspukua hienoon englantilaiseen Savile Row -räätiliikkeen muutoksia varten. Liikkeen lähtöhinta puvulle on viisi kertaa tarjouspuvun hinta. Ostoksen sovitus kansallisiin säännöksiin ja olosuhteisiin eli räätälöinti kannattaa aina tehdä itse. Miksi se on niin vaikea ymmärtää? Suomen pienydinvoiman tuki 50 miljoonaa vuodessa ei riitä edes säännösten mukaisiin turva- ja valmiusjärjestelyihin. Kun tukiraha on käytetty, kolminkertaisen aidan ympäröimällä laitosalueella on vasta työmaakoppi.

Ruotsalaiset näyttävät ymmärtäneen pelin hengen. Viranomaista ja toimitusketjuja vahvistetaan ja investointeja tuetaan. Ruotsi on luvannut satojen miljoonien korkotuen ja miljardeja maksavan kaksisuuntaisen hinnanosopimuksen tuotetulle sähkölle. Ruotsin laitoksen turvallisuuden kokonaisuutena keskittyvä lupaprosessi säästää satoja miljoonia. Suomeen ei vastaavia taideta saada, vaikka säännöstöä uusitaan. Suomen rikkaat ja uusyritykset suuntaavat yritysystävällisempään Ruotsiin. Onhan parempi pyrkiä kansankotiin kuin kasvaa orpokodissa.

TÄRKEÄ LISÄPALANEN puuttuu kaikilta ydinvoiman tekijöiltä: ostetaan toimittajilta vain rauta ja laitoksen pääosat. Rakennukset ja maakohtaiset paperit tehdään omassa projektissa kuten IVO aikoinaan. Historiasta voisi oppia. Viime vuosisadan alussa Pohjanmaan suomalaiset odottivat Amerikan serkun lähettävän rahaa. Harvoin sitä tuli. Nokian ollessa suurimmillaan sen johdossa oli pohjalaisia. Niinpä he arvelivat amerikkalaisten lähettävän rahaa, kun ottivat sieltä yritysjohtajan. Ei tullut rahaa eikä herkkuja juhlapöytään, vaan koko Nokian yritysrautaa floppasi.

Nyt huhutaan amerikkalaisten antavan rahaa ja rakentavan ydinvoimalaitoksen Hanhikivelle. Amerikkalaisten rahat ovat kuin Trumpin puheet ja kryptovaluutta. Puheet ja lupaukset paisuvat, mutta lopulta jää vain lasku käteen. Nykyisessä taloustilanteessa ja leipäjonojen venyessä pitää muistaa Nälkämaan laulun sanat: ”Meidän on uudesta luotava maa, raukat vain menköhöt merten taal!”

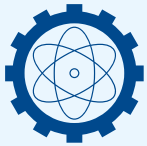
Tähän loppuun pyysin kaikkivoipaa tekoälyä keksimään vitsein vihreistä ja blondista. Se on tässä, tosin vähän korjailtuna. Vihreän puolueen edustaja, insinööri ja blondi miesoletettu menivät yhdessä ydinvoimalaan. Vihreä varmisti kaiken olevan ympäristöystävällistä. Insinööri teki turvallisuuslaskuja puhelimen laskimella. Blondi miesoletettu katsoi auki olevaan reaktoriin ja kysyi: ”Tuleeko tuo sininen valo uunilampusta?” 🌀

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 YDINVOIMA 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**