

ATS YDINTEKNIikka

3/2025

Vol. 54

YDINENERGIALAKI UUDISTUU

Ydinenergialaki ja sen alaiset asetukset ja määräykset uudistetaan useamman vuoden pituisessa projektissa, jonka maaliviiva alkaa hämmöttää.

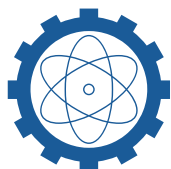
UUDEN YDINVOIMAN TOTEUTETTAVUUS?

Fortumin selvityksessä kartoitettiin ydinvoimalamarkkinoita ja selvitettiin taloudellisia reunaehtoja uusille yksiköille Suomessa ja Ruotsissa.

POSIVAN KENRAALIHARJOITUS

Yhteistoimintakokeessa Posiva valmistautuu tuotantovaiheeseen ja pyrkii varmistamaan kaikkien loppusijoitusprosessin vaiheiden toimivuuden.





ATS YDINTEKNIikka

Julkaisija / Publisher

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

www.ats-fns.fi

Johtokunta / Board

Puheenjohtaja / President

DI Hanna Tynys

puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja / Vice President

TkT Antti Hakola

antti.hakola@vtt.fi

Sihteeri / Secretary General

FM Tommi Lyytinen

sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Topi Tupasela

topi.tupasela@stuk.fi

Jäsenet / Board Members

PhD René Bes

rene.bes@helsinki.fi

FT Jani Huttunen

jani.huttunen@tvo.fi

Dos. Taina Kurki-Suonio

taina.kurki-suonio@aalto.fi

TkT Jaakko Leppänen

jaakko.leppanen@vtt.fi

DI Janne Valkonen

janne.valkonen@platom.fi

Toimihenkilöt / Functionaries

ATS Young Generation

DI Roope Lipiäinen

roope.lipiainen@fortum.com

Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

MSc Ana Jambrina

ana.jambrina@vtt.fi

Women in Nuclear Finland

FM Jenna Levo

jenna.levo@tvo.fi

Www-vastaava / Webmaster

DI Teemu Sällylä

webmaster@ats-fns.fi

ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkT Riitta Kyrki-Rajamäki

rkyrki@gmail.com

Toimitus / Editors

Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

TkT Jarmo Ala-Heikkilä

jarmo.ala-heikkila@aalto.fi

Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

FT Antti Rätty

antti.ratty@vtt.fi

Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

DI Tapani Raunio

tapani.e.raunio@fortum.com

Ulkoasu ja taitto / Layout

Katariina Korhonen, Creatus

katariina@creatus.fi

Toimitus / Editorial Staff

FM Sophie Haapalehto

sophie.haapalehto@posiva.fi

DI Klaus Kilpi

klaus.kilpi@gmail.com

DI Unna Lauranto

unna.lauranto@vtt.fi

TkT Henri Loukusa

henri.loukusa@gmail.com

DI Aleks Savolainen

aleksi.savolainen@tvo.fi

FT Mervi Söderlund

mervi.soderlund@fortum.com

TOIMITUKSEN YHTEYSTIEDOT

ATS Ydintekniikka

c/o Jarmo Ala-Heikkilä

PL 15600

00076 Aalto

p. 050 433 1198

Painopaikka

PunaMusta Oy, Espoo

ISSN-0356-0473

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

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

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



PERINTEITÄ JA UUDISTUMISTA SOPIVASSA SUHTEESSA

Mistäköhän saadaan radikaaleja konservatiiveja yhdistyksen pyörittämiseen? Sellaisille on nimittäin tarvetta johtokunnassa, tapahtumien järjestämisessä sekä jäsenlehden toimituksessa.

Kun ATS seurana täyttää vuoden päästä kunnioitettavat 60 vuotta, niin meille on kertynyt paljon perinteitä, joiden ylläpitoon menee merkittävä osuus resursseista. Tällaiseen toimintaan kaivataan konservatiiveja eli säilyttäjiä.

Toisaalta kun halutaan jatkuvuutta seuran toiminnalle, niin täytyy olla valmiutta uudistuksille. Muussa tapauksessa piiri saattaa jäädä pyörimään sisäpiirinä, mikä ei kutsu uusia ihmisiä mukaan toimintaan ja pitemmällä tähtäyksellä kiihdyttää seuran olemattomiin. Uudistusideat tulevat yleensä radikaaleilta.

ATS:n tapauksessa jäsenistön kokoonpano tuntuu säilyneen sopivassa tasapainossa, koska toiminta jatkuu vireänä. Erilliset toimintaryhmät senioreille, nuorille ja naisille ovat tärkeitä aktivaattoreita, mutta kun itse en kuulu noista yhteenkään, niin haluan painottaa myös seuran kaikille yhteisen toiminnan tärkeyttä.

Esimerkki ATS:n perinteistä on syysseminaari, jota on järjestetty jo 1990-luvun alusta. Vuosittainen perinne rikottiin vuonna 2016, kun 50-vuotisjuhlien kunniaksi päätettiin korvata syysseminaari kaikille avoimilla Suomalaisen Ydintekniikan Päivillä eli SYPillä. Kokemus oli positiivinen, joten päädyttiin pitämään SYP joka kolmas vuosi ja välivuosina perinteinen syysseminaari.

Kun tänä syksynä pidetään jo neljäs SYP-symposium, niin voidaan todeta, että radikaali perinteen rikkominen loi vanhan rinnalle uuden perinteen. Toivotan parhainta menestystä SYP2025:lle!

Jarmo Ala-Heikkilä

Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

VAKIOPALSTAT

PÄÄTOIMITTAJALTA

Perinteitä ja uudistumista sopivassa suhteessa 3

PÄÄKIRJOITUS

Suomi on ydinvoiman kehityksen globaalissa eturintamassa 4

EDITORIAL

Finland is at the forefront of global nuclear power development 5

KOLUMNI

Loviisan ydinvoimalan 1980-luvun alun laatukorjaukset loivat perustaa laitoksen parantavalle kunnossapidolle 42

PAKINA

Materiaalien kiertotalouden hallinta luontuisi hyvin Suomen "isokuvastrategiaksi" 46

TAPAHTUMAT

Nuclear Innovation Bootcamp 2025 in Sydney 6

The 5th Nordic Fusion Seminar
Tromssa 17.–18.6.2025 11

WiN Global 2025 -konferenssissa
kannustettiin tiedon jakamiseen 14

Summer Symposium 2025 16

AJANKOHTAISTA

Fortum's new nuclear feasibility study 20

Mitä ydinturvallisuus maksaa? 24

Ydinenergialain uudistuksen hyötyjen eteen pitää tehdä työtä 26

Posivan yhteistoimintakoe – loppusijoituksen kenraaliharjoitus 31

TIEDE JA TEKNIikka

Finland's recent research activities on radioactive waste management within the Euratom programme 33

Erika Holt, Louise Theodon

Vaihtolatausaltaassa tapahtuvan sydänsula-betoni-vuorovaikutuksen mallintaminen MELCOR-laskentakoodilla 39

Aapo Harju

SUOMI ON YDINVOIMAN KEHITYKSEN GLOBAALISSA ETURINTAMASSA



Tänä vuonna tulee kuluneeksi kymmenen vuotta historiallisesta Pariisin ilmastosovusta. Ilmastodiplomatian virstanpylvästä huolimatta globaalit kasvihuonekaasupäästöt ovat jatkaneet sitkeästi kasvuaan. Ja vaikka ilmastohuolet ovat osin jääneet akuutimpien murheiden varjoon, ei ole syytä vajota synkkyyteen. Ilmassa on selviä käänteen merkkejä.

Aiemmin tänä vuonna raportoitiin Kiinan mahdollisesti jo saavuttaneen päästöhuippunsa. Maahan rakennetaan ennätystahtia uutta ydinvoimaa sekä uusiutuvaa energiaa ja maan autokanta on sähköistymässä nopeaa vauhtia.

Meillä Euroopassa päätöksentekijät ovat alkaneet tunnustaa, että energijärjestelmän puhdistaminen pelkästään uusiutuviin tukeutumalla on tekemätön paikka. Belgia ilmoitti luopuvansa ydinvoiman alasajosta ja Saksan tuore liittokansleri Friedrich Merz kertoi Saksan lopettavan ydinvoiman vastaisen myyräntyönsä EU-politiikassa. Ydinvoiman roolia arvioidaan uudelleen sellaisissakin maissa kuin Tanska, joka pitkään vastusti ydinvoiman käyttöä jopa naapurimaissaan.

Samaan aikaan leviää ymmärrys, että energia on muutakin kuin sähköä. Kaikesta käyttämästämme energiasta 80 prosenttia on yhä fossiilista. Sähkön kulutus kaikesta käytetystä energiasta on vain noin neljännes, kun lämmitykseen teollisuus mukaanluettuna kuluu yli 40 prosenttia. Loppu kolmannes käytetystä energiasta kuluu lähinnä liikkumisen eri muotoihin.

Energiamurroksen mittakaava on sanalla sanoen mykistävä. Mutta myös siihen liittyvät mahdollisuudet ovat valtavat – myös ydinvoimalle.

Suomalaista energiapolitiikkaa on pitkään kutsuttu pragmaattiseksi. Kun muut länsimaat antoivat ydinvoima-alansa kuitua, Suomessa alaan ja sen osaamiseen

päätettiin panostaa. Tänne päätettiin rakentaa uusia yksiköitä ja Olkiluodossa avautuu pian maailman ensimmäinen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus-tila. Ala on houkuttellut Suomeen huippuosaajia ympäri maailmaa niin teollisuuden kuin tutkimuksenkin piiriin.

VTT-taustainen Steady Energy kehittää maailman teknologisessa eturintamassa pelkkään lämmöntuotantoon suunniteltua ydinlämpölaitosta. Ei ole poissuljettua, että Suomesta löytyy pian maailman ensimmäinen ydinkaukolämmöllä lämmitetty kokonainen kaupunki. Suomalaisten kaukolämpöalan yritysten ennakkuulotto-muus ydinvoiman suhteen on pantu merille myös maamme rajojen ulkopuolella.

Alan kehitykseen tulee pitkältä aikaa vetoa myös politiikan puolelta. Pitkään valmisteltu ydinenergialain kokonaisuudistus tulee eduskuntaan tulevan talven aikana ja aikataulun mukaan se tulee voimaan vuoden 2027 alussa. Lakipäivitys on tarpeellinen uudistus muun muassa alan uusien liiketoimintamallien mahdollistamiseksi ja uusien teknologioiden, kuten pienreaktorien, huomioimiseksi.

Kaikkien näiden kehityskulkujen yhteisvaikutuksesta Suomi näyttäisi marssivan ydinenergia-alan kehityksen eturintamassa. Kiitos siitä kuuluu kansalaisuudesta riippumatta alan jokaiselle osaajalle opiskelijoista eläkeläisiin.

Tommi Nyman

Toimitusjohtaja

Steady Energy Oy

tommi.nyman@steadyenergy.fi

FINLAND IS AT THE FOREFRONT OF GLOBAL NUCLEAR POWER DEVELOPMENT

This year marks the tenth anniversary of the historic Paris Climate Agreement. Despite this milestone in climate diplomacy, global greenhouse gas emissions have continued to rise steadily. And even though climate concerns have been somewhat overshadowed by more pressing issues, there is no reason to be pessimistic. There are clear signs of a turning point.

Earlier this year, it was reported that China may have already reached its peak emissions. The country is building new nuclear power and renewable energy facilities at a record pace, and its car fleet is rapidly becoming electrified.

Here in Europe, decision-makers have begun to recognize that cleaning up the energy system by relying solely on renewables is an impossible task. Belgium has announced that it will abandon its nuclear phase-out, and Germany's new Chancellor Friedrich Merz has said that Germany will end its anti-nuclear lobbying in EU politics. The role of nuclear power is being reassessed even in countries such as Denmark, which for a long time opposed the use of nuclear power even in its neighbouring countries.

At the same time, there is a growing understanding that energy is more than just electricity. Eighty percent of all the energy we use is still fossil-based. Electricity consumption accounts for only about a quarter of all energy used, while domestic and industrial heating accounts for over 40 percent. The remaining third of energy is mainly consumed by various forms of transportation.

The scale of the energy transition is, in a word, staggering. But the opportunities it presents are also enormous – including those for nuclear power.

Finnish energy policy has long been described as pragmatic. While other Western

countries allowed their nuclear power industries to wither away, Finland decided to invest in the sector and its expertise. It was decided to build new power units here, and the world's first final disposal facility for spent nuclear fuel will soon open in Olkiluoto. The field has attracted top experts from around the world to Finland, both in industry and research.

Steady Energy, with roots at VTT, is developing a nuclear heating plant designed solely for heat production at the forefront of global technology. It is not impossible that Finland will soon have the world's first entire city heated by nuclear district heating. The open-mindedness of Finnish district heating companies towards nuclear power has also been noted outside of our country's borders.

After a long hiatus, politicians are also showing interest in the development of the industry. A comprehensive reform of the Nuclear Energy Act, which has been in preparation for a long time, will be submitted to the Parliament this winter and, according to the schedule, will enter into force at the beginning of 2027. The revision of the law is a necessary reform, among other things, to enable new business models in the sector and to consider new technologies such as small modular reactors.

The combined effect of all these developments seems to be propelling Finland to the forefront of development in the nuclear energy sector. Credit for this goes to every single expert in the field, from students to retirees, regardless of their nationality.

Tommi Nyman

Chief Executive Officer
Steady Energy Oy
tommi.nyman@steadyenergy.fi



The NIB2025 Cohort on the first day at the University of New South Wales in Sydney (photo: NIA-NIB2025).

NUCLEAR INNOVATION BOOTCAMP 2025 IN SYDNEY

Students and early-career professionals excited about nuclear energy from 17 different countries gathered together in wintry Sydney to tackle global and Australian nuclear challenges with practical solutions. During this 2-week intensive bootcamp participants from Finland to Philippines were introduced to nuclear finances, business plans, and presenting with credibility. Australian perspectives from the work of ANSTO to uranium mining and the impacts of the AUKUS nuclear submarine programme on the need of nuclear professionals were also discussed.

Text: Jenna Järvenpää and Devin Watts



M.Sc. (Tech), M.Sc. (Radiochemistry)
Jenna Järvenpää
 Project Manager
 VTT
jenna.jarvenpaa@vtt.fi



Devin Watts
 Operations Manager
 Nuclear Innovation Alliance
dwatts@nuclearinnovationalliance.org

A new generation of nuclear engineers and talent from other disciplines are coming into the nuclear energy sector, many because they care about climate change, but demand for innovative and multidisciplinary talent in nuclear entrepreneurship is greater than supply.

The USA-based Nuclear Innovation Alliance (NIA) and the Nuclear Innovation Center at the University of New South Wales (UNSW) partnered on the 8th edition of the Nuclear Innovation Bootcamp (NIB) [1]. For this 4th in-person edition, since the effects of COVID, out of 117 applicants, 24 students and early career professionals from all over the world and from various backgrounds were selected to form the NIB2025 Cohort. With representation from 17 countries, 71% women, and 50% ethnic minorities, the NIB2025 took place in Randwick, Sydney, from 20th July to 1st August, 2025.

The structure of the Nuclear Innovation Bootcamp is based each year on a 2-week intensive seminar-style workshop combined with group projects. Participants take courses in a wide range of topics in the mornings and work together on team design projects in the afternoons and evenings that are pitched to a panel of expert judges on the last day. Each team is expected to prepare a financial model and a business plan for their idea and go through them with their professional mentors before the final pitch.

The NIB is aimed for undergraduate and graduate students and also for early-career professionals all around the world. There have been only two early-career professionals from Finland participating in NIB so far and more are encouraged to apply.

ABOUT NUCLEAR INNOVATION BOOTCAMP

The Nuclear Innovation Bootcamp (NIB) has been a pioneering initiative since 2016, nurturing talented young professionals and students interested in the advanced nuclear energy sector. NIA has been organizing the NIB in partnership with several universities and has played a major role in the startup ecosystem for advanced nuclear energy.

NIB seeks to train students and early career professionals in skills essential to innovation in nuclear energy through this summer experience of expert-led sessions, team-building exercises, group project design, and pitch competition. The goal of NIB is to increase the pipeline of nuclear energy innovators and multidisciplinary talent in the nuclear workforce and entrepreneurship.

NIB's commitment to innovation, education, diversity, and community engagement will drive its success as a recruitment pipeline for talented young professionals in the advanced nuclear energy sector. By executing the outlined programmatic goals, NIB will continue to play a pivotal role in shaping the future of nuclear energy while fostering a diverse and dynamic workforce.

GOALS OF NUCLEAR INNOVATION BOOTCAMP

Goals of the NIB are strengthening innovation education and increasing diversity by developing and refining a curriculum that aligns with the latest advancements in nuclear energy as well as integrating cutting-edge technologies and emerging concepts in the energy sector into the program. It will enhance diversity in the participant pool by actively reaching out to underrepresented groups and offering scholarships to applicants from diverse backgrounds.

With the support of sponsors, NIB covers participants' accommodation, meals, field trips, and transportation within the Bootcamp. Participants are also encour-

Ideas from satellites measuring radioactive fallout to SMRs heating city streets in winter attached on the wall (photo: Jenna Järvenpää).



aged to apply for travel grants to cover their flights to the Bootcamp.

NIB also expands its engagement with broader communities and industries by establishing partnerships with industry-leading companies and research institutions to provide participants with real-world exposure. As a part of Bootcamp, NIB organizes regional workshops and seminars to engage with local communities and build awareness about nuclear energy's potential and safety measures. It also collaborates with international or-

ganizations to foster global connections and share best practices.

Moreover, NIB focuses on recruiting talent from underrepresented disciplines, backgrounds, and professions by developing targeted outreach programs to attract participants from disciplines beyond nuclear engineering, such as environmental sciences, policy, and social sciences. It also provides mentorship opportunities and networking events to encourage sustained engagement within the nuclear energy sector. In addition, NIB provides financial support to cover participants' costs.

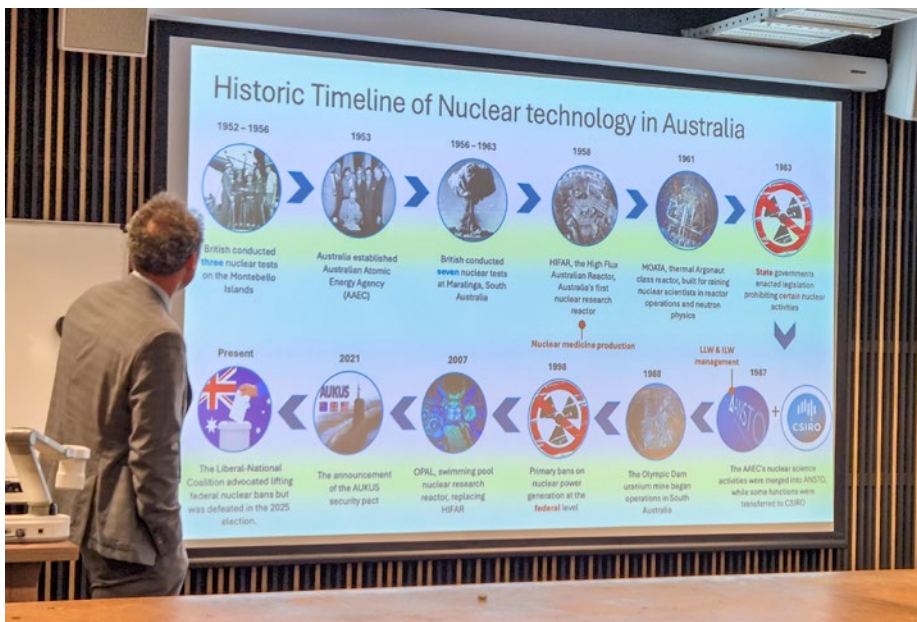
FROM FINLAND TO AUSTRALIA – A PARTICIPANT'S VIEW

Inspired by the first Finnish participant and the opportunity to deep dive into nuclear issues of Australia, I (Jenna) decided to apply for this Bootcamp in Sydney. The application process was easy and simple, as only a CV, an essay, and one letter of recommendation were needed to be submitted about half a year before the event.

The essay answered questions related to nuclear energy's role in today's

After multiple rounds on discussing ideas, participants were let to organically form teams (photo: NIA-NIB2025).





Associate Professor Edward Obbard from the UNSW giving a lecture on nuclear technology's history in Australia (photo: Jenna Järvenpää).

clean energy landscape, innovation in nuclear energy, career goals, and previous entrepreneurial experience. Coming from the innovative SMR R&D culture in VTT and witnessing a nuclear spin-off to thrive, this assignment was easily approachable.

These themes were relevant throughout the whole Bootcamp as we went through steps from idea generation to validation of our project ideas, mentoring, final-

izing project plans and financial models, as well as pitching our project to a professional jury. If participants had no previous entrepreneurship experience, this Bootcamp definitely supported everyone to find their strengths in group work with international colleagues from various disciplines.

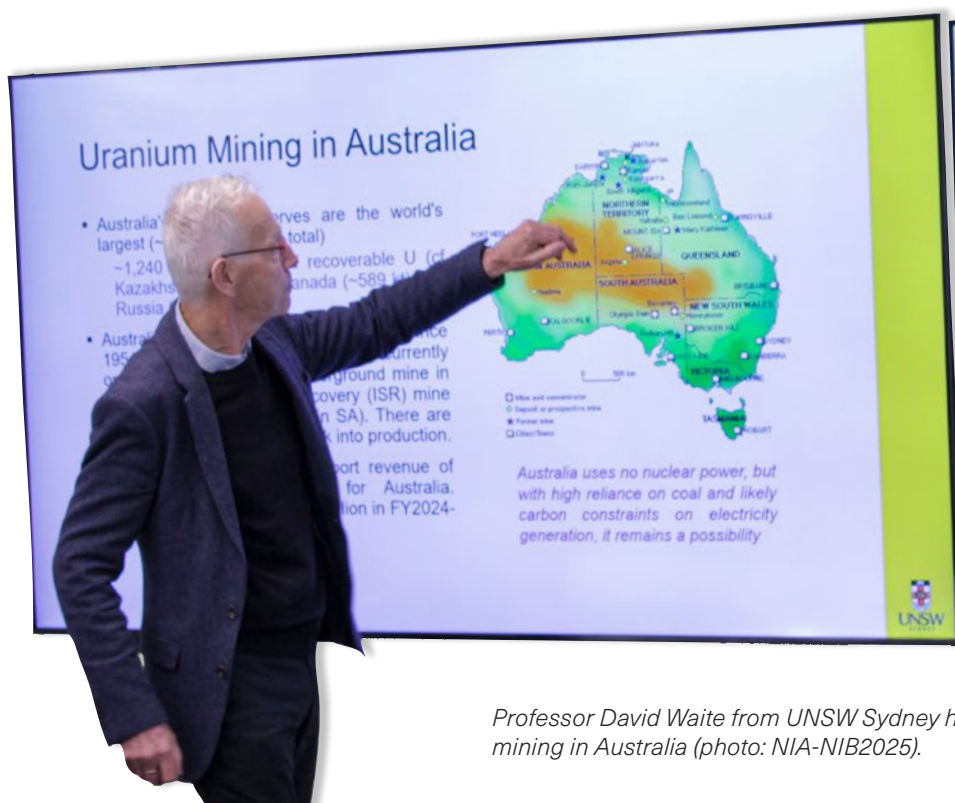
Each person also needed to make a one-minute elevator pitch video to practice public speaking and communications. This

video was then gone through personally with a mentor to boost one's presentation skills before the group presentations. Also, group presentations were practised several times with and without PowerPoint slides to improve each group's performance.

If you have never been in a start-up in its early phase, this Bootcamp resembles it quite well and gives you an understanding of how much effort you have to put not only on the concept but also on the credibility of your presentations to obtain funding and acceptance. In general, this Bootcamp also served greater purposes in expanding one's professional networks and connections to other universities, research institutions, and nuclear agencies. Moreover, we had a chance to learn about UNSW's Nuclear Innovation Centre, nuclear engineering programmes, and their material research areas.

EYE-OPENING LECTURES ON AUSTRALIA'S NUCLEAR PERSPECTIVES

As NIB also provided various lectures from the global nuclear energy landscape to foresight and innovation, from introduction to feasibility models for nuclear projects to business models, plans and strategies, it also covered eye-opening lectures on Australia's nuclear history, present and the future. During the early 1950s, British conducted



Professor David Waite from UNSW Sydney highlighting the importance of uranium mining in Australia (photo: NIA-NIB2025).



Visit to ANSTO and the Australian Centre for Neutron Scattering with instruments named with Australian wildlife, such as Echidna, Wombat and Koala, was highly interesting (photo: NIA-NIB2025).

However, due to logistical conflicts, this field trip was changed to visit the Taronga Zoo in Sydney.

INTERESTING VISIT TO AUSTRALIA'S NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION (ANSTO)

Visiting Australia's Nuclear Science and Technology Organisation is like visiting HEUREKA (Finnish Science Centre) with focus on nuclear technologies, radioisotopes and instruments named by animals from Australia's wildlife. In the Australian Centre for Neutron Scattering near the OPAL reactor, we were introduced to Wombat (High-intensity power diffractometer used for texture characterisation), Koala (Laue Diffractometer used for determining complex crystal structures), Kowari (Strain Scanner used for strain scanning of large engineering components) and Quakka (Small Angle Neutron Scattering used for nanoscale soft matters) [3]. We had a chance to look inside the Reactor Hall of the OPAL reactor and see scientists conducting experiments in real life, and later to visit the inside premises through VR glasses.

This 20 MW OPAL reactor is not only used to create neutrons for research purposes, but also to produce commercial

three nuclear tests on the Montebello islands and later in the late 1950s and early 1960s seven more nuclear tests at Maralinga, South Australia. These past tests and their impacts still hinder and shadow the discussions on using nuclear energy and public acceptance in Australia [2].

The Australian legislation still prohibits certain nuclear activities, including nuclear power generation, making deployment of SMRs in Australia challenging. However, nuclear research reactors have not been banned, and HIFAR (High Flux Australian Reactor) from 1958 has been replaced by OPAL (Open Pool Australian Lightwater reactor), operational since 2007 at the Australia's Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO) Sydney premises. The decommissioning of HIFAR is still underway.

The announcement of the AUKUS security pact in 2021 cleared the path to nuclear-related jobs for the coming decades. Up to 20,000 highly skilled jobs are created through this conventionally-armed nuclear-powered submarine programme, contributing to a sovereign and resilient Indo-Pacific through Australia, the UK, and the USA.

Australia and nuclear can not be mentioned without uranium mines. South

Australia covers up to 25% of all the economically viable uranium resources in the world, and taking the whole country into consideration, Australia's uranium reserves are around 30% of the world total. There are three mines still operating, Olympic Dam, which is an underground mine, Four Mile, and Beverley, which are in-situ recovery mines. There are plans to bring Honeymoon back into production.

The original NIB programme included a field trip to the Honeymoon Uranium Mine, which was previously Australia's second operating in-situ recovery mine.



Deep diving into the atomic level and the operation of the OPAL reactor with VR headsets (photo: NIA-NIB2025).

quantities of radioisotopes. OPAL's main uses are irradiation of target materials to produce radioisotopes for medical and industrial applications, research in the field of materials science, analysis of minerals and samples, as well as irradiation of silicon samples to be used in manufacturing electronic semiconductor devices [4]. During our tour we heard that silicon ingots have been sent here even from Finland to be irradiated and measured.

Peeking through a glass to see manufacturing of Mo-99 in lead-glass hot cells with shiny manipulators in the new Mo-99 Manufacturing Facility was also highly fascinating. ANSTO is constructing Synroc(™) radioactive waste treatment facility next to this manufacturing facility and the OPAL reactor for providing a permanent, safe, and economical way of treating waste from nuclear medicine manufacture. This innovation significantly reduces the volume of nuclear waste by hot isostatic pressing technique developed through the past 40 years.

CONCLUSIONS

The Nuclear Innovation Bootcamp offers an excellent opportunity for early-career professionals or students to innovate, collaborate, and learn in an international nuclear



The Atomic Circus concept for outreaching regional communities to teach and educate school children on nuclear technologies in Australia (photo: Jenna Järvenpää & Kay Song).

forum with interdisciplinary colleagues all around the world. Through the NIB Alumni Network, participants can stay connected with each other throughout their professional nuclear careers and expand their professional networks for potential opportunities. The Bootcamp has even facilitated the development of groundbreaking technologies through companies created from earlier Bootcamp projects, such as Caelus Corporation and Alpha Nur, that are now in the pilot or early commercialization stages.

As the second Finnish participant, I am grateful that my participation has been enabled by VTT's internal SMR project funded by the Government of Finland and also co-funded by the European Union through ENEN2Plus Mobility Project. I recommend that every member of the Finnish Young Generation apply for the upcoming Nuclear Innovation Bootcamps, as it offers a unique opportunity to learn about global nuclear and climate issues and network with other young professionals. I also want to express my gratitude to the organizers, especially Devin Watts, who kindly steered this group of 24 eager participants through various classrooms, social events, and exciting pitch sessions. 🌐

References

- 1 <https://nuclearinnovationalliance.org/nuclear-innovation-bootcamp-impact-report>
- 2 Lecture materials from NIB
- 3 www.ansto.gov.au
- 4 www.ansto.gov.au/facilities/opal-multi-purpose-reactor



The whole NIB2025 Cohort after the successful week (photo: NIA-NIB2025).

THE 5TH NORDIC FUSION SEMINAR TROMSSA 17.–18.6.2025

Riskillä mentiin, kun käytännössä Suomen koko fuusioyhteisö matkusti samalla potkurikoneella Norjan vuorien yli Tromssan arktisen yliopiston vieraaksi. Kaksi päivää perillä olivat riskinoton arvoiset.

Teksti: Taina Kurki-Suonio ja Antti Hakola

Norjakin on nyt liittynyt EUROfusion-verkostoon ja tarjoutui heti kättelyssä isännöimään tänä vuonna viidettä kertaa järjestettyä yhteispohjoismaista fuusioseminaaria. Tähän asti Suomi, Ruotsi ja Tanska ovat joka toinen tai kolmas vuosi järjestäneet näitä seminaareja ajatuksella ”pienet maat ovat vahvempia yhdessä”. Välivuosina jokainen maa järjestää oman kansallisen fuusioseminaarinsa.

MATKASSA MUKANA PIENIÄ JÄNNITYSMOMENTTEJA

Meidän suomalaisten matka alkoi onnellisten tähtien alla: Finnair joutui ilmoittamaan lukuisien lentojen perumisesta 17. ja 19. päivänä kesäkuuta, mutta meidän matkustuspäivämme olivatkin 16. ja 18. Saavuimme kesäisen kauniiseen maanantai-iltaan, ja lämpötila oli raikkaat +16 °C. Mutta tämä oli lämmintä verrattuna itse kokouspäiviin, jolloin oli pilvistä, vähän saateistakin ja lämpötilat nousivat hädin tuskin 10 asteen yläpuolelle.



Dosentti Taina Kurki-Suonio
Vanhempi yliopistolehtori
Aalto-yliopisto
taina.kurki-suonio@aalto.fi

Sen sijaan Arktisen Yliopiston (UiT) sisätiloja lämmitettiin meidän makuumme turhankin tehokkaasti. Ehkä tämä oli tietoinen valinta, ja siksi yliopistolla oli jatkuvasti tarjolla rajattomasti jäätelöitä. Ilmaiseksi.

Konferenssihotelli oli usean kilometrin päässä sekä yliopistolta että lentokentältä, mikä etukäteen vähän ihmetytti ja ehkä huolestuttikin, mutta julkinen liikenne jatkuvasti kulkevina busseineen ylitti kaikki odotukset.

ITER TUOTIIN IHOLLE

Konferenssi alkoi äärimmäisen mielenkiintoisesti ja inspiroivasti. ITERistä oli saatu paikalle Experiments & Plasma Operation -osaston johtaja Richard Pitts, joka piti esityksen ITER-projektin etenemisestä sekä ITERin käyttöönoton uudesta strategiasista ja aikataulusta. Jo tämän esityksen aikana ainakin allekirjoittaneet tunsivat heti uusien, terveiden tuulien puhaltavan: nyt vaikeuksista ja viivästyksistä puhuttiin avoimesti, samoin yrityksistä ratkaista niitä.

Joidenkin yksityisyritysten rohkeat, ehkä katteettomatkin lupaukset fuusiosähköstä muutamassa vuodessa liene-



Tkt Antti Hakola
Johtava tutkija
VTT
antti.hakola@vtt.fi

vät avanneet ITER-organisaation silmät näkemään avoimuuden edut vakuuttamaan suuri yleisö projektien tervehdyskisydestä ja realismista. Pittsin sanoista tuli mieleen paljonkin asioita YJK-kurssin (Kansallinen Ydinturvallisuus- ja Ydinjätehuoltokurssi) osuuksista, erityisesti liittyen turvallisuuskulttuuriin ja luotettavaan viestintään. Fuusioenergian kehitystyö on muutenkin nyt selvästi siirtynyt perustutkimuksesta teknologiavaiheeseen, jossa monet virheet voitaisiin välttää konsultoimalla fissioyhteisöä.

Pittsin esityksen edetessä yleisölle tuli selväksi, etteivät ITERin viivästyksiset johdu leppoisasta eteläranskalaisesta työskulttuurista, vaan vastoin käymiset ovat kirjaimellisesti mittavia. Suurimmat ongelmat liittyvät lämpökilpiin (thermal shield) ja tyhjiökammion komponentteihin, jotka on vaivalla kuljetettu paikalle eri puolilta maailmaa. Ja kun COVID-19 vielä rikkoi suuren osan hankintaketjuista, alkaa ITERin rakennusprojektissa olla yhteneväisiä piirteitä suomalaisessa suosassa tarpomisen kanssa.

Varsin viisaasti Pitts toi esiin myös merkittäviä onnistumisia haastavissa hankkeissa. Esimerkiksi kaikkien ennusteiden vastaisesti itse magneettien valmistuksessa ei ole ollut mitään merkittäviä ongelmia! Uudenlaista nöyryyttä ja realismia edustaa nyt se, ettei kaikkia magneetteja ollakaan kunnianhimoisesti heti asentamassa paikalleen, vaan ensin tehdään kylmätestejä suprajohdattavassa tilassa.

MUUTOKSIA MATERIAALI-VALINNOISSA

Myös positiivisia yllätyksiä löytyi: kun heijastamista voimistava hopeapäälyste osoittautui ongelmien juureksi tyhjiökammiossa, oli mietittävä muuta. Kävi ilmi, että kiillotettu volframi heijasti lähes yhtä hyvin, mikä paitsi yksinkertaistaa valmistusta, myös tekee ITERin entistä relevantimmaksi voimalaitoksia ajatellen.

Muitakin muutoksia ITERin suunniteluun tehtiin, kun ajattelemisen vauhtiin oli päästy: berylliumpäälysteisten seinäelementtien prototyypit menivät haaskoille, kun päätös puhtaasta W-seinästä tehtiin. Berylliumin käyttö ja lisensiointihan olivat erittäin ongelmallisia, mutta lisäksi todettiin sen käytöstä saatava hyöty kustannustehottomaksi, koska varsinaisessa voimalassa tuo materiaali ei tule kysymykseen.

Kaikkien kokemusten ja kompastusten pohjalta julkistettiin vuoden 2024 lopulla uusi ITERin tutkimus- ja projektisuunnitel-

ma, niin kutsuttu baseline. Tämä pyrkii otamaan realistisesti huomioon ennakoimattomia ongelmia. Enää ei oleteta, että saapuvat komponentit ovat täydellisiä, vaan aikataulu sisältää koko joukon kokeita ja testejä ennen käyttöönottoa.

Tällä hetkellä kaikki korjaushommat etenevät suunnitellusti ja niillä on selkeä aikataulu, josta esimerkkinä kuvassa tyhjökammion tapaus. Kryostaatti suljetaan vuonna 2033 ja aletaan jäähdytys operointilämpötilaan.

FUUSIOREALISMI: RUUSUISESSA TULEVAISUUDESSA KIPEITÄ PIIKKEJÄ

Seuraavana puhujana oli EUROfusionin palvelieluinen ohjelmajohtaja Gianfranco Federici, joka esitti vakavan kysymyksen: Quo Vadis, EUROfusion? Fuusioenergialahan on melkoisessa myllerryksessä, kun levoton raha etsii kultamunia munivaa fuusiohankea. Tukevalle osaamispohjalle pe-

rustuvat yksityiset fuusiofirmat ovatkin jo kiertäneet ja terävöittäneet myös julkisen sektorin tutkimus- ja kehitystyötä.

Federici peräänkuulutti "fuusiorealismia", joka pitää sisällään ikävän ristiriidan: pitäisi samaan aikaan kiihdyttää kaupallisen fuusioreaktorin rakentamista sekä ratkaista toistaiseksi liian vähälle huomiolle jääneet tieteellis-teknologiset ongelmat. Näihin kuuluu sellainen pikku juttu kuin polttoaineena käytettävä tritium, jota ei sen nopeahkon hajoamisen vuoksi juurikaan löydy varastoista. 1000 MW:n fuusiovoimala tarvitsee vuodessa 55,8 kg tritiumia, joten ilman luotettavaa tritiumin hyötöä voimalaitoksen operoinnin aikana fuusioenergian laajamittainen hyödyntäminen jäänee haaveeksi.

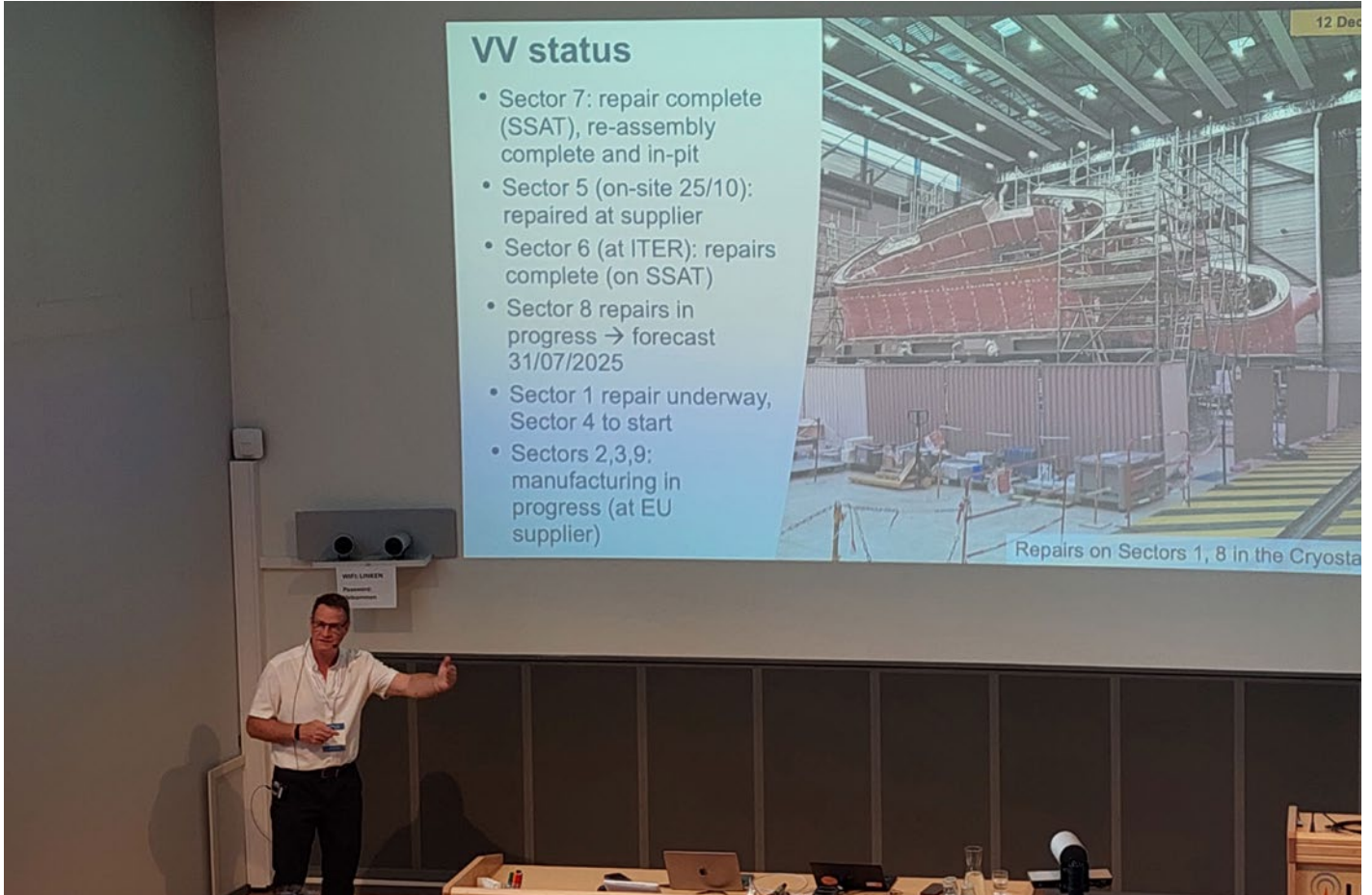
F4E (Fusion for Energy) on EUROfusionin rinnakkaisorganisaatio, joka on vastuussa Euroopassa valmistettavista ITERin komponenteista. Tämän vuoden kesäkuussa F4E järjesti pyöreän pöydän tapahtuman, joka toi yhteen yksityisen ja julkisen sektorin osaajat, jotta tritiumin

hyötämisen ja kierrätyksen kaltaiset kriittiset teknologiat saataisiin viipeettä riittävän korkealle TRL-tasolle (Technological Readiness Level).

Federici painotti, että julkinen sektori ei enää ole kuskin paikalla, vaan teollisuus pitäisi ottaa mukaan suunnitteluun heti alkumetreillä eikä vain tilausten vastaanottajana. GO4Fusion on fuusioenergian sidosryhmien alusta, jonka tarkoituksena on vahvistaa ja varmistaa eurooppalaisen teknologian ja teollisuuden asema fuusioenergian valjastamisessa. Yhteistyö GO4Fusionin kanssa oli Federicin mielestä paitsi järkevää myös välttämätöntä.

Tyylilleen uskollisena Federici käytti loppuosan esityksestään lobatakseen vahvasti VNS:ää (Volumetric Neutron Source). Se olisi pienikokoinen fuusiolaitte, jonka tarkoitus olisi vain roiskia suurienergisia neutroneja laitteen seinille lähes reaktorin intensiteetillä ja siten sekä testata eri materiaalien kestävyyttä että tritiumin hyötämistä. Nähtäväksi jää, miten kaikki hankkeet saadaan rahoitettua.

ITERin Richard Pitts kertoi seikkaperäisesti ongelmallisista komponenteista ja niiden korjaustilanteesta (kuva: Antti Hakola).





Vaikka ohjelma oli varsin tiivis, onnistuivat monet suomalaiset osallistujat kipaistamaan lähimmän vuoren huipulle – osa kepeästi juosten kuin vuorikauriit, osa turvautuen nelivetoon (kuvat: Tuomas Tala ja Tommi Lyytinen).

TIEDETTÄ JA TEKNOLOGIAA TUVAN TÄYDELTÄ

EUROfusion-tason esitysten jälkeen oli ilahduttavaa, että myös tieteellisestä tutkimuksesta raportoivia esityksiä oli järjestetty kaikille yhteisen ohjelmaosuuden alle. Ensimmäisenä päivänä tällaisia esityksiä oli kolmesta aiheesta: palavista fuusioplasmoista, avaruusfysiikasta sekä plasman kuljetuksesta ja turbulenssista. Kaikki nämä ovat kuumia tutkimuskohteita, jotka herättivät laajalti kiinnostusta yleisössä.

Suomen fuusiotutkimuksesta plenaryesityksen pitivät Antti Snicker (Fast-ion induced tungsten sputtering in STEP and ITER), Antti Salmi (Intrinsic torque and momentum transport studies on TCV tokamak) sekä Jari Likonen (LIBS campaign in JET in 2024). Myöhemmin iltapäivällä ohjelma jatkautui kolmeen rinnakkaissessioon, joissa esitykset olivat teknisempiä ja paneutuivat pienempiin yksityiskohtiin. Sessioiden teemat olivat plasma-seinäma-vuorovaikutukset, etähuolto sekä nopeat hiukkaset ja tekoälyn käyttö fuusiotutkimuksessa.

Toinen päivä alkoi jälleen kaikille yhteisellä ohjelmalla ja samoin tehtiin päivän päätteeksi. Erityisen kiitoksen ohjelma saa siitä, että suurin osa jälkimmäisestä päivästä oli omistettu nuorten tutkijoiden lyhyille esityksille rinnakkaissessioissa. Tämä mahdollisti paitsi yleiskatsauksen eri tutkimuskohteisiin myös aloitteleville tutkijoille turvallisen harjoittelualustan suurempia kansainvälisiä konferensseja varten. 🌀



WIN GLOBAL 2025 -KONFERENSSISSA KANNUSTETTIIN TIEDON JAKAMISEEN

Jokainen ydinalan ammattilainen voi olla ydintekniikan tiedottaja. Pienin askel tähän suuntaan on kertoa urastaan omalle perheelleen ja suvulleen. Esimerkiksi ydinvoimalaitoksen toimintaperiaatteen esittelemine lapsille voi olla hyvin yksinkertaista. Vedenkeitin ja vappuhyrrä riittävät. Kunnianhimoisempi ydintekniikan lähettiläs voi sen sijaan hyödyntää uusinta tietoa LinkedInin algoritmeista ja pyrkiä jakamaan tietoa laajemmalle yleisölle. On tärkeää jakaa punnittua tieteellistä tietoa, mutta persoonallinen ote voi tehdä tiedosta helpommin lähestyttävää.

Teksti ja kuvat: Jenna Levo

Women in Nuclear Globalin vuosittainen konferenssi järjestettiin heinäkuussa Lontoossa. Tapahtumaa edelsivät maailmanlaajuisen naisjärjestön hallituskomitean kokous ja yleiskokous. WiN Finlandin tavoitteina konferenssille olivat muun muassa laajempien kansainvälisten verkostojen luominen ja kansainvälisen mentorointiohjelman perustamisen taustoitaminen. Lisäksi WiN pyrki hakemaan oppeja ja kokemuksia teknis-tieteellisten alojen houkuttelevuuden lisäämisen keinovalikoimasta.

PYÖRÄÄ EI KANNATA KEKSIÄ UUDELLEEN, EIKÄ VARSINKAAN YKSIN

Miten pienydinvoiman turvallisuudesta tai luvittamisesta kuuluu puhua? Onko ydinjäte pelottavaa? Keskustellaanko lääketie-



FM Jenna Levo

Puheenjohtaja

Women in Nuclear Finland

win-finland@ats-fns.fi



teestä syntyvästä säteilevästä jätteestä tarpeeksi? Tietääkö poliitikko, mitkä ovat hänen äänestyspäätöksensä pitkän tähtäimen seuraukset? Ympäri maailman kansallisten WiN-järjestöjen edustajat painivat samojen kysymysten äärellä, joskin eri maata eri vaiheissa. Myös trendi siitä, että naiset ovat miehiä useammin ydinvoimaa vastaan, on maailmanlaajuinen.

WiN Finland ei ole ydinenergian lobbajajärjestö, eikä se sellaiseksi pyrikään. Kuitenkin sekä kansallisesti että kansainvälisesti selkeästi tarvitaan kansantajuista puhetta säteilystä, sen käyttämisestä ja siihen liittyvistä vaaroista, unohtamatta keskustelua riskien lieventämiseen suunnatuista toimenpiteistä. Varmasti jokainen meistä perustaa mielipiteensä mieluummin faktoihin kuin fiktion.

Yhteistyöllä ja tiedon jakamisella yhteiskunnalliseen keskusteluun liittyviä on-

WiN Finlandia konferenssissa edustivat puheenjohtaja Jenna Levo sekä koordinoitiryhmän jäsen Hanna Nokkonen.

gelmiä taklataan nopeammin. Se mikä toimii yhdessä maassa, toimii todennäköisesti kansallisin maustein kopioituna myös toisessa. WiN Global 2025 -konferenssin sanoma oli, että jokainen meistä voi tehdä tätä tiedottamista.

Australialainen Jo Lackenby on tehnyt työtä TedEX-puheiden kautta. Amerikkalainen Grace Vanderhei on ottanut haltuun Instagramin. Ja kanadalainen Lisa McBride kertoo harjoittelevansa sukujuhlissa Fred-sedällä, joka tuo jokaiseen perhetapahtumaan uusia myyttejä murrettavaksi. Kaikilla meillä ei ole mahdollisuutta päästä TedEX-lavalle, eikä jokainen halua Instagram- tai LinkedIn-influensseriksi.

Mutta jokaisella meillä on oma Fred-setä, jonka kanssa voi harjoitella vaikeista teknisistä kysymyksistä puhumista kansantajuisesti.

MENTORINTIOHJELMA OPPIEN JA KOKEMUSTEN JAKAMISEN VÄLINEENÄ

WiN Finland ja WiN France ovat vuoden 2025 aikana käyneet keskustelua mahdollisuudesta perustaa mentorointiohjelma, joka toimisi tiedonsiirron ja verkostoitumisen välineenä maiden ammattilaisten välillä. WiN Global -konferenssissa kyseisten maiden edustajilla oli mahdollisuus keskustella kasvokkain mahdollisuuksista ja tavoitteista yksityiskohtaisemmin. Mentorointiohjelman perustamista koskevassa keskustelussa olivat mukana myös WiN UK:n, WiN IAEA:n sekä vuonna 2025 perustetun WiN Netherlandsin edustajia.

Ensimmäinen eurooppalainen kahden maan välinen mentorointiohjelma on organisoitu Ranskan ja Yhdistyneiden kuningaskuntien välille. Mentorointikokonaisuus on ollut käynnissä nyt viisi vuotta, ja ohjelma kestää vuoden kerrallaan. WiN IAEA:lla on käynnissä oma mentorointiohjelmansa, joka on täysin IAEA:n sisäinen.

Keskustelun lopputulemana voitiin päätellä, että molemmat mentorointiohjelmat ovat olleet pidettyjä sekä hyödyllisiä. Niiden järjestäminen ei ole vaatinut kohtuuttoman paljon työtä. Vuonna 2024 WiN Finlandin jäsenistölle toteutetussa

kyselyssä osoitettiin kiinnostusta osallistua mentorointiohjelmaan, mikäli sellainen järjestettäisiin. Lupaavaa oli erityisesti se, että kiinnostuneita oli sekä mentoroitaviksi että mentoroijiksi.

Näiden tietojen valossa WiN Finlandin koordinoitiryhmä jatkaa selvittelyä mentorointiohjelman toteuttamispotentiaalista. Sekä kansallisesti että kansainvälisesti seuraavat askeleet selvitystyölle on sovittu. Vuodenvaihteeseen mennessä kirkastunee ajatus siitä, kannattaako mentorointiohjelma polkaista liikkeelle. Alustavasti selvityksen alla on Suomen ja Ranskan välinen yhteistyö, mutta Lontoossa kuullun perusteella laajemmallekin mentorointiverkostolle Euroopassa olisi kysyntää.

TIETOJOHTAMISEN JA JATKUVUUDEN ONGELMA

“Työskenteletkö projektissa, joka kestää pidempään kuin oma oletettu elinikäsi?” Satoja käsiä nousee ilmaan. Jokainen käsi edustaa tarvetta tiedonsiirron suunnitelmalle, jossa varaudutaan ammattilaisen korvaamiseen eläkkeelle siirtymisen tai muiden muutosten varalta.

Suomessakin tiedetään, että Fukushimaa jälkeen alan houkuttelevuus romahti, ja myös tämä ongelma on maailmanlaajuinen. Huomionarvoista on myös se, että alalle tarvitaan tekniikan alojen ulkopuolisten ammattien edustajia. Mikäli pienydinvoima tuo uuden renessanssin alalle, se vaatii tekijöitä. Lontoon konfe-

renssia isännöineen WiN UK:n strategia ottaa tämän huomioon kiteyttäen tavoitteensa kolmeen pilariin: vetovoima, pitovoima ja vuoropuhelu.

Brittiläisen sisarjärjestömme ohella lukuisat kansallisten WiN-järjestöjen vapaaehtoiset kiertävät alakouluissa tekevässä tiedotustyötä. Tavoite on tehdä urasta ydintekniikan parissa houkutteleva kaikille sukupuolille. Pidempään työelämässä olleita pyritään myös houkuttelemaan alalle viestinnän keinoin. Jos on kannuksensa hakenut jo muilta aloilta, on olemassa iso mahdollisuus, että taitoja voi hyödyntää sellaisenaan ydintekniikan parissa.

Pitovoimalla tavoitellaan työelämän joustoja, jotka mahdollistavat niin lasten kuin ikääntyvien vanhempien hoitamisen työelämän ohella tai välissä. Lyhyt katkos cv:ssä ei saa tarkoittaa sitä, että henkilöltä katoavat mahdollisuudet hyödyntää omaa osaamistaan ja kasvaa urallaan. Vuoropuhelu viittaa jo aiemmin korostettuun tavoitteeseen kansantajuisesta viestinnästä. Yhteiskunnallisesta keskustelusta ei voi jättää ryhmiä ulos, vaikka sievert olisi ryhmän jäsenille jännittävä sanana tai konseptina. 🌀



Vuonna 2024 valittu WiN Globalin puheenjohtaja Melina Belinco toivotti 800-päisen yleisön tervetulleeksi konferenssiin.



Juuri ja juuri saatiin osallistujat mahtumaan samaan kuvaan: kaiken kaikkiaan 75 osallistujaa (kuva: Antti Sirainen).

SUMMER SYMPOSIUM 2025

Platom järjesti tänä vuonna perinteisen ATS YG:n Summer Symposium -kesätapahtuman. Tapahtuma oli kaikille ilmainen ja suunnattu alle 38-vuotiaille ydinalan nuorille osajille, kesätöitä tekeville, opiskelijoille sekä muille ydinalasta kiinnostuneille nuorille.



DI Roope Lipiäinen

Design Engineer, Nuclear Safety
Fortum Power and Heat Oy
roope.lipiainen@fortum.com

Teksti: Roope Lipiäinen

Summer Symposium järjestettiin Västälän Voimantalolla Orivedellä perjantaina 8.8.2025. Tapahtuman teemana oli tänä vuonna SMR-kaukolämpö ja osallistujille tarjottiin useita mielenkiintoisia esityksiä aiheesta.

ALKUJÄNNITYKSET

Ylimääräistä jännitystä saatiin kokea pääkaupunkiseudun bussissa menomatkalla,

kun bussi alkoi savuamaan ja kuljettaja joutui ensimmäistä kertaa urallaan pyytämään matkustajia rauhallisesti poistumaan kyydistä. Matkaa oli vielä noin 30 kilometriä jäljellä ja pikaisesti tiedusteltiin mahdollisuutta vaihtaa Olkiluodon suunnasta tulevaan bussiin. Kuitenkin onneksi pienen tutkiskelun jälkeen matkaa päästiin jatkamaan rauhallisella nopeudella ja päästiin perille asti samalla bussilla.

Platomin toimitusjohtaja Kirsi Hassinen toivotti kaikki osallistujat lämpimästi tervetulleiksi. Pienen alkukyselyn jälkeen näytti, että jopa noin kolmasosa osallistujis-

ta osallistui ensimmäistä kertaa Summer Symposiumiin. Ensikertalaisia löytyi myös esittäjien joukosta.

SMR-KAUKOLÄMPÖÄ

Pekka Nurmilaukas (Helen) esitteli Helenin ydinkaukolämpöhanketta. Helen on yksi Suomen suurimmista energiayhtiöistä. Helenin päätoimia ovat sähköntuotanto ja -siirto sekä kaukolämpö ja -jäähdytys, jonka tarve onkin suuresti lisääntymässä. Helenin tavoitteina on hiilineutraalius vuoteen 2030 mennessä ja polton lopetus kokonaan vuoteen 2040 mennessä. Näistä syistä Helenillä on menossa oma selvitys kaukolämpöydinvoimalasta. Laitoksen käyttöönotto voisi olla arviolta noin 10 vuoden päästä.

Keskustelua syntyi ydinvoimalaitosten suojaetäisyydestä ja siihen liittyvistä tulevista muutoksista. Kirsi Hassinen heitti ilmoille kysymyksen pohdittavaksi, kuinka moni olisi ajatuksen tasolla valmis ottamaan SMR-laitoksen 500 metrin päähän kodistaan. Osallistujat olivat suurilta osin myönteisiä ajatukselle.

Veera Rantavaara (Steady Energy) on diplomityöntekijä ja hän kertoi, miten Steady Energy on kasvanut vauhdilla viime aikoina. Nykyään heillä on töissä noin 40 henkilöä ja työllistettyinä noin 200 konsulttia. Hän myös mainitsi, että LDR-reaktorin pilottilaitos tulee olemaan 6 MW kokoinen sähkövastuslaitos LDRe, jolla voidaan koestaa turvajärjestelmien tehokkuutta. Pilottilaitos on rakenteilla vuosina 2025–2027.

Veeran diplomityön aiheena on security-by-design, jossa käydään yleisellä tasolla läpi turvajärjestelyjen konsepti ja uhkaskenaariot. Turvajärjestelyt ovat siitä erikoinen asia, että niistä ei haluta antaa julkisia tietoja. Ydinvoimalaitosten käyttökokemuksista jaetaan kyllä paljonkin tietoja, mutta turvajärjestelyt halutaan pitää omina tietoinaan. Loppukevennyksenä Veera mainitsi tämän esityksen tekemisen olleen kaikkein haastavin osa diplomityöstä.

RANSKALAINEN VAIHTOEHTO

Moni ei ollut aikaisemmin kuullut yrityksestä Calogena ja vielä harvempi oli vierailut heidän toimistollaan. Jaakko Pullinen (Calogena) kertoi yrityksestä, jolla on toimintaa pääasiassa Etelä-Ranskassa. Calogenalla on Suomessa pieni muuttaman työntekijän toimisto.

Calogenalla on kaksi mallia SMR-kaukolämpöreaktorista, CAL30 ja CAL90, jotka ovat lämpötehoiltaan 30–35 MW ja 90–105 MW. Näiden laitosalue tulee viemään puoli hehtaaria. Laitoksen on alusta asti haluttu olevan hyvin yksinkertainen ja siihen ei haluta keksiä mitään uutta reaktoria varten. Yksinkertaisuus on kaunista. Nämä reaktorit eivät myöskään tule tuottamaan sähköä, koska muuten menetetään matalan lämpötilan tuomat edut.

Laitoksella tulisi olemaan päivävuoro paikan päällä ja keskusvalvomo 24/7, josta voidaan valvoa useampia laitoksia. Calogenan laitoksien turvajärjestelyistä ei

kerrottu mitään, vaikka Veera yritti diplomityötään varten niistä vielä uudella.

KATSAUS LAIVAREAKTOREIHIN

Professori Juhani Hyvärinen (LUT-yliopisto) toi lisää realismia SMR-keskusteluun mainitsemalla, että reaktorikonsepteja on verrattain helppo piirrellä, mutta vaikea tuottaa. Tämä voidaan nähdä yli sadan konseptireaktorin listauksesta.

Juhani siirsi myös katseitamme hetkeksi pois kaukolämpöreaktoreista laivareaktoreihin. Laivareaktoreissa voisi olla ideaa myös ympäristön näkökulmasta. On olemassa monia vaihtoehtoisia energialähteitä kuten LNG, E-fuels (sähköllä valmistetut polttoaineet), akut ja tuuli, joilla kaikilla on omat hyvät ja huonot puolensa. Ydinvoimalla saataisiin kaikki vaadittavat asiat toteutettua: ei typen ja rikin oksideita, ei kasvihuonekaasuja, korkea tehotehous ja luotettavasti energiaa hyvin pitkiksi ajoiksi.

Laivareaktorien suhteen on vielä moni asia auki, kuten maailman laajuinen infrastruktuuri ja kansainvälinen lainsäädäntö laivareaktoreille. Pohjaa lainsäädännölle voisi saada kansainväliseltä merenkulkujärjestöltä (IMO).

Esityksensä lopussa Juhani esitteli muutamia erikoisia reaktorikonsepteja. Ensimmäinen listalla oli ydinpatterireaktori, joka olisi "kertakäyttöinen" eli se tuottaisi 30 vuotta energiaa matalalla teholla. Reaktoria ei ladattaisi uudestaan, vaan se käytöstä poistettaisiin polttoaineen loputtua.

Esitysten pitäjät: Veera Rantavaara (Steady Energy), Juhani Hyvärinen (LUT-yliopisto) ja Jaakko Pullinen (Calogena). Kuvasta puuttuu Pekka Nurmilaukas (Helen) (kuva: Antti Sirainen).





Hauskanpitoa rastien lomassa (kuva: Antti Sirainen).

PELIT JA KISAILUT

Ruokailun jälkeen koko porukka otettiin ulos ja sekoitettiin kahdeksaan joukkueeseen. Kilpailuissa joukkueiden piti oppia tuntemaan toisensa ja suorittaa ydinvoima-aiheisia tehtäviä. Kinkkisiä lämmönsiirtolaskuja, tietovisoja ja sananselityksiä. Ydinvoima-ala on täynnä lyhenteitä ja niitä piti tietää tai arvailla pitkä liuta. Kilpailijat pääsivät myös harjoittelemaan myyntitaitojaan kauppaamalla omia kaukolämpöreaktoreitaan pienen kaupungin kaupunginjohtajalle.

Aikaa jätettiin myös osallistujien verkostoitumiselle vapaan jutustelun ja saunomisen merkeissä. Saatiin uusia tuttavuuksia ja monia uusia ATS-jäseniä.

Joukkuekilpailun voittaja oli Joukkue 8 "Kuumat Hiukkaset". Yrityskilpailu oli äärimmäisen tiukka. Upean kiertopokaalin tänä vuonna voitti Fortum Keilaniemi vain muutamien pisteiden erolla seuraavaan. Voittopullo nautittiin viikon päästä vietetyllä pitsapiknikillä Aalto-yliopiston kupeessa.

Toisena esimerkkinä oli Last Energyn reaktori, jossa paineastian seinämä toimisi höyrystimenä. Seinämä valmistetaan ohuista levyistä, jotka hitsataan yhteen. Levyissä on pieniä mikrokanavia. Mielenkiintoinen idea, mutta likaantuneiden mikrokanavien

puhdistaminen osoittautuu varmasti omanlaiseksi haasteekseen.

Viimeisenä esimerkkinä Juhani esiteli Deep Fission IPWR:n, joka sijoitettiin syvälle maan alle porareian pohjalle. Loppusijoitus voisi hoitua samassa tilassa.

POHJOISMAISTA ENERGIAA

Me Fortumilla tuotamme Loviisassa noin 10 % koko Suomen sähköstä – vakaasti ja turvallisesti. Yli 45 vuoden kokemuksella tarjoamme asiakkaillemme ympäri maailmaa vahvaa asiantuntemusta ydinvoimalaitoksen elinkaaren kaikkiin vaiheisiin. Uskomme, että ydinvoima on osa ratkaisua siirryttäessä kohti tulevaisuuden päästötöntä energiajärjestelmää.





Joukkuekilpailun voittajat Kuumat Hiukkaset (kuva: Antti Sirainen).



Kiinnostuneina seuraamassa esityksiä (kuva: Antti Sirainen).



Kiertopalkinto lähti Fortum Keilaniemen mukaan (kuva: Antti Sirainen).

PALAUTE JA KIITOKSET

Palautetta tapahtumasta tuli kerättyä myös monilta ensi kertaa Summer Symposiumiin osallistuneilta. Paras mainostus tapahtumalle on aikaisemmilta osallistuneilta. Ensimmäistä kertaa houkutteli myös lähtemään, että pääsee näkemään vanhoja opiskelukavereita, jotka nykyään asuvat eri puolilla Suomea.

Esityksistä pidettiin kovasti ja monelle nämä olivat oikein mielenkiintoisia, koska ydinvoima-aiheet eivät tule muuten ilmi monella opiskelualalla. Kehuttiin myös laajasta kattauksesta alaan, kun esittäjiä oli diplomityöntekijästä professoriin.

Rastikierros oli huippu. Kun kyselin lempirastia, kaikilta tuli eri vastauksia. Se oli hyvä, että tehtäviä oli monipuolisesti ja niissä kaivattiin hieman erilaisia taitoja ja joukkueen eri jäsenet pääsivät loistamaan. Kierroksen aikana pääsi tutustumaan samanhenkisiin ihmisiin myös muuten kuin töiden lomassa.

Loppuun vielä isot kiitokset tapahtuman järjestämisestä Platomin koko järjestelyporukalle, erityisesti Platomin ATS YG yhdyshenkilölle Herkko Pirkkalaiselle! 🌀



Tietokisarastilla pätkäilemistä (kuva: Antti Sirainen).



Fortum Keilaniemen voittopullon hävitys pitsapiknikillä (kuva: Roope Lipiäinen).

FORTUM'S NEW NUCLEAR FEASIBILITY STUDY

Fortum launched a two-year feasibility study project for new nuclear power in November 2022. The goal was to evaluate technical and economic feasibility for potential new nuclear reactors with the help of possible partners, in Finland and Sweden. The scope of the project included both large nuclear power plants and small modular reactors (SMRs).

Teksti: Riitta Hast, Antti Rantakaulio, Konsta Värri, Per Claesson

Kuvat: Fortum Power and Heat Oy

This article describes what was done during the feasibility study, with a particular focus on the request-for-information (RFI) process, building a business case, the pre-licensing dialogue, and activities that took place in Sweden.

STARTING WITH REQUEST-FOR-INFORMATION

One of the main activities at the beginning was a comprehensive request-for-information (RFI) process which was initiated in the winter of 2023 to evaluate the available light water reactor nuclear power technologies. The purpose of the RFI was to support the

feasibility study project and the development of new nuclear business by gathering information from various vendors about their delivery scopes and contract models, the licensability and constructability of the technologies, project schedules and risks, as well as preliminary cost estimates (capital and operating costs, CAPEX and OPEX).

Before the project, Fortum already had a reasonably good understanding of the available technologies, but the RFI process provided an opportunity to update the information and obtain consistent information from all vendors.

The question package consisted of questions and a list of so-called "technical expectation levels" (Owner's Reference

Levels, ORL). The questions covered various topics from the vendor's financial situation to how the operation and maintenance activities are planned. The RFI also included three location-related scenarios.

The ORLs were a collection of international and Finnish requirements (current Finnish YVL guidelines), which were identified as either the strictest or deviating from the licensing requirements of other countries. The purpose of the ORLs was to analyze potential differences between the proposed plant designs and the current Finnish nuclear safety requirements.

The submitted material was similar for large and small plants, but some questions only concerned one type of tech-



DI Riitta Hast

Expert, Licensing
Fortum Power and Heat Oy
riitta.hast@fortum.com



DI Antti Rantakaulio

Engineering Manager, New Nuclear
Fortum Power and Heat Oy
antti.rantakaulio@fortum.com



DI Konsta Värri

Expert, Nuclear Economics
and Investment
Fortum Power and Heat Oy
konsta.varri@fortum.com

nology. The question package was sent to seven vendors. All vendors responded and answers were received regarding 11 designs.

Workshops were held with the vendors during the evaluation work. The purpose of the workshops was to clarify the responses and delve into certain topics. The themes agreed upon within the evaluation team were common to all vendors. The evaluation schedule was quite tight. The number of responses was large due to the number of different design options. Despite the tight schedule, the goal was achieved, and the documentation package was completed before the end of 2023.

The RFI provided an excellent overview of the plant designs and the situation of the vendors, especially regarding potentially challenging or project-risk-causing topics. One of the objectives was to see beyond the PowerPoint slides and really understand design maturity of the technologies. This was achieved as it was found out that although there are many SMRs under development, the maturity of some of the designs is still somewhat low. Based on the RFI results, a down-selection was done and in 2024 Fortum continued the work focussing on 6 designs.

After down-selection, in-depth technical reviews with the vendors continued based on the RFI results. Additionally, in 2024, the suitability of different plant site options was preliminarily assessed from the perspectives of technology, environment, and availability of cooling water.

BUILDING A BUSINESS CASE

The primary challenge for building new nuclear is handling the large upfront cost of the investment. The RFI results were used for gaining an initial sense of the possible overnight cost levels different vendors were presuming while also crafting further initial

analysis of the risks involved using the bottom-up cost tool created in cooperation with Massachusetts Institute of Technology (MIT). The overnight cost was also complemented by analysis of the potential operation and maintenance costs using the RFI data and Fortum's own experience in operating nuclear power plants (NPP).

On the other side of the coin were the financing and income sources. Financing comprises a significant portion of the total capital cost of the plant and while the initial findings seemed to indicate there are possibilities to reach a suitable solution, this work still continues beyond the initial feasibility study.

The same can be said for the income source analysis. The uncertainty in the electricity markets becomes quite significant for an investment with such a long lifetime and different potential solutions to reduce this risk were studied including, for example, power purchase agreements and different state support solutions, especially for the Swedish case.

The work also included site specific assessments, discussions about partnerships etc. As the work is still clearly continuing, it cannot be said that the business case analysis led to any clear final conclusions. It did, however, give us a clear outline on how to move forward.

New nuclear cannot be built purely on merchant basis, but requires a risk sharing framework like the one prepared by the Swedish government. While this de-risks the project significantly, it has to be complemented by the work started alongside the technology providers to ensure the plants would be as complete and directly licensable as possible. These are also large enough investments that they heavily favour partnerships between different actors to share the financial load of the investment.

COOPERATION WITH MIT

The aforementioned bottom-up cost tool was developed together with MIT over the span of five years. The basis for the tool already existed at MIT's side as a design-to-cost tool, but the main subjects the cooperation wanted to explore were the delays and cost overruns that have plagued nuclear for the last decades. Any additional understanding of the causes behind the ballooning costs for new nuclear seemed more than worthwhile to study further.

As a bottom-up structure, the tool goes through individual cost accounts assessing both their costs (manufacturing, work force on site, materials, indirect costs) and the length the tasks would take to complete.

All of these different aspects can then be varied using Monte-Carlo analysis to get the total cost and length distributions.

The basis for the risk variations was formed by MIT using multiple sources from both nuclear and general megaprojects. Combining the distributions for all the individual cost accounts results in the same total risk distributions for the full NPP.

The costs accounts have their basis on the database collected during the construction of 1200 MW Westinghouse pressurized water reactors in the United States. The original database includes over 1400 cost accounts which have been paired down to slightly over 200 for the sake of the simulation and input files being manageable.

The tool is not presumed to give exact cost data, but rather build an understanding of the ranges that can be expected from newbuild plants. This can also be drilled down so that we can look at various cost drivers and their effect on the overall final costs. In this sense the tool has been a success as Fortum has gained the capacity for independent cost analysis of new nuclear while also gaining increased understanding of the risks a project like this could face.

PRE-LICENSING DIALOGUE

As part of the newbuild feasibility study, Fortum initiated a pre-licensing dialogue with regulators in Finland and Sweden. The main driver for this dialogue was to minimize potential design changes. While neither country has an official pre-licensing process, the current Nuclear Energy Act in Finland allows the Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK) to review proposed plans and provide preliminary guidance on safety, security, and emergency preparedness upon request.

The purpose of the pre-licensing dialogue was to explore potentially challenging design solutions across various plant technologies, and the topics were selected based on the RFI results. Fortum set several goals for the pre-licensing dialogue:

- receiving initial feedback from regulators on specific design features,
- understanding the additional work and analyses required for licensing and supporting the development of a licensing strategy,
- de-risking the licensing process as much as possible before signing a delivery contract with a vendor, and
- mitigating costly design changes and project delays.



M.Sc. Per Claesson
Senior Expert, Licensing
Fortum Sverige AB
per.claesson@fortum.com

The pre-licensing dialogue began with vendors and STUK in late 2023. Sweden’s regulator, Swedish Radiation Safety Authority (SSM), joined as an observer in summer 2024.

The pre-licensing dialogue followed a structured four-phase process:

- 1. Topic identification**
Based on the RFI results Fortum’s experts identified potential pre-licensing topics. Each topic focused on a specific design feature of a certain plant design that had not been previously licensed in Finland.
- 2. Safety justification preparation**
Fortum assessed the design feature in detail based on vendor-provided design documentation and prepared a safety justification that described why Fortum considered the design to be safe and acceptable even if it did not fully fulfil current YVL Guide requirements. This phase included Q&A meetings with the vendor to clarify details and ask questions.
- 3. Regulatory review**
The safety justification was submitted to the regulators, who then had the opportunity to review the documentation and ask clarifying questions. Fortum organized a kick-off meeting to provide context and expectations before the review began. It should also be noted that no approvals or decisions were made by the regulators during the pre-licensing dialogue. The comments received were advisory in nature.
- 4. Workshops**
After the regulatory review two workshops and a closing meeting were held, allowing regulators to ask questions and vendors to provide more insights on design features. The main outcome was a joint meeting minutes, capturing key discussions, conclusions, and the open issues for future consideration.

Each pre-licensing topic typically lasted five to six months. Multiple topics were handled in parallel, each topic coordinated by a designated expert. In total, discussions were held on 11 topics with five different vendors.

The pre-licensing involved significant collaboration when experts from Fortum, vendors, STUK, and SSM contributed to each topic. Based on the feed-

back received the pre-licensing dialogue has been a learning experience for all involved. Participants highlighted the experience as positive and engaging. The topics selected for the dialogue were seen relevant and discussions occurred in an open manner.

Fortum gained valuable initial feedback from regulators on specific design features and a clearer understanding of the additional work needed for future licensing, while regulators deepened their understanding of plant designs. Discussions during the workshops also fostered a better understanding of differences in regulatory requirements and their application between Finland and Sweden and strengthened collaboration among all stakeholders.

THE SWEDISH CASE

Sweden is Fortum’s home market with Fortum having 1300+ MW of nuclear power in Oskarshamn and Forsmark and even more hydropower capacity. The political shift since the Swedish election in 2022, regarding nuclear power in Sweden has thus created an interesting opportunity for Fortum. The new government has shown a strong commitment to reviving and expanding the country’s nuclear energy capabilities. This change in stance is a response to the growing concerns about energy security, climate change, and the need for a stable and sustainable energy supply.

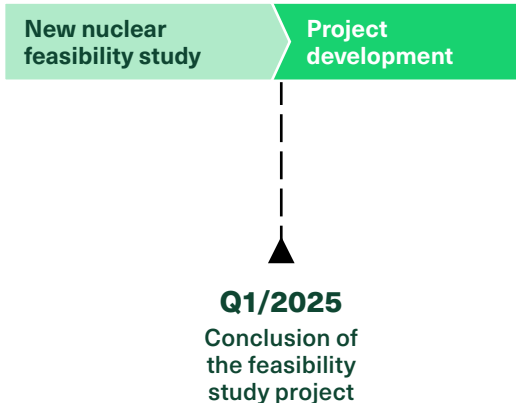
The government has initiated several measures to support the development of new nuclear projects, including a new law on financial support and development of the regulatory framework. During the feasibility study, Fortum investigated different options for sites in Sweden. Assessments were conducted to identify and evaluate potential sites for new nuclear plants.

In recent years, there has also been a notable shift in the Swedish population’s view on nuclear power. Public opinion has become increasingly favourable towards nuclear energy, driven by growing awareness of climate change and the need for sustainable energy solutions. Surveys conducted between 2023 and 2024 indicate that a majority of Swedes now support the expansion of nuclear power to achieve energy security and reduce carbon emissions.

Efforts have been made to improve the regulatory processes for nuclear projects. The Nuclear Power Review Investigation reported in January 2025, providing comprehensive recommendations for improving the regulatory framework, for example:

- 1. Decision in principle:** A new law will allow the Government to decide early on the compatibility of constructing and operating a nuclear facility at a specific site within society’s overall interests.
- 2. Streamlined licensing under the Environmental Code:** The licensing process under the Environmental Code will be streamlined to focus only on issues not covered by the Nuclear Activities Act.
- 3. Permissibility and authorization:** The Land and Environment Court will assess permissibility and authorization, eliminating the need for a separate Government decision when there is a decision in principle.
- 4. Streamlined licensing under the Nuclear Activities Act:** The Nuclear Activities Act will introduce voluntary steps to facilitate complete applications, including early engagement with the Swedish Radiation Safety Authority and the possibility of advance rulings.
- 5. Clarified licensing process:** The licensing process will be clarified to focus solely on nuclear and radiation safety, security, and safeguards. Provisions for site evaluation, step-wise approval, and transfer of licenses will be introduced to streamline the process.
- 6. Fees:** The fee structure will be differentiated and lowered, ensuring full cost recovery while maintaining focus on safety and security.

Illustrative example of the timeline of a potential project. Each phase change refers to a gate the business case has to pass.



The four preconditions of a successful newbuild project.

FINANCIAL SUPPORT FOR NEW NUCLEAR

The financial support model for new nuclear projects in Sweden decided by the parliament in spring 2025 consists of three main components: state loans, two-way contract for difference, and a risk and gain-sharing mechanism.

State loans are provided for the construction and trial operation of new nuclear reactors, as well as for planning and other preparatory measures. The loans cannot cover the entire investment cost, requiring additional equity contributions.

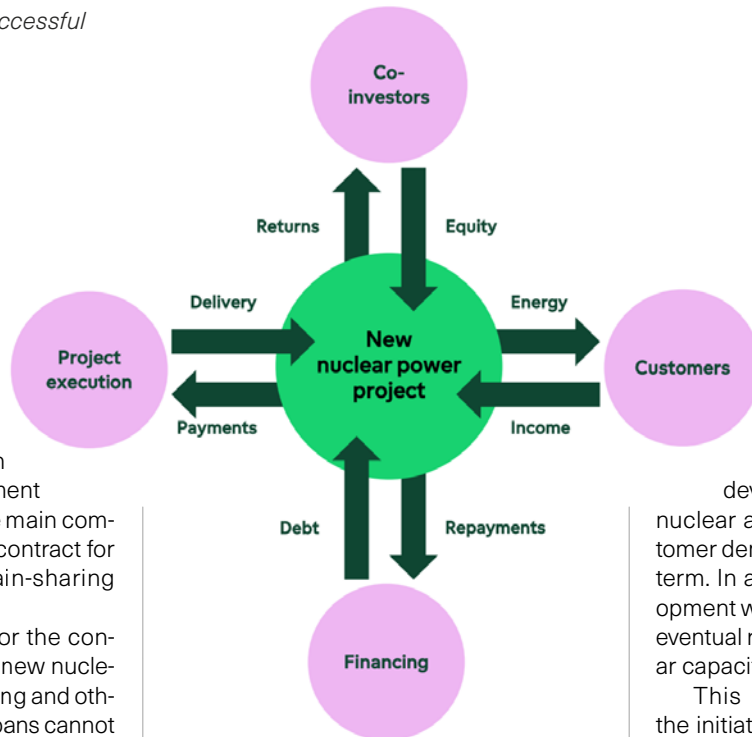
Once the nuclear reactor is operational, the project company receives market revenues that can be used to cover operating costs, repay state loans, and provide dividends to shareholders. Two-way contract for difference reduces market risk by ensuring a minimum compensation for the company during commercial operation and transferring any excess profits to the state.

The support conditions include a mechanism for protecting the equity investors through a negotiated minimum return on equity, while also providing a mechanism to transfer back any excess profits to the state.

In addition to state support, the Swedish state has demonstrated a clear will-

ingness to become a partner in a company that invests in new nuclear reactors as a way to share the financial burden of the project.

In conclusion, the Swedish case for new nuclear projects offers valuable insights into the feasibility of expanding nuclear energy capabilities. The political shift towards pro-nuclear policies, coupled with financial support mechanisms and a streamlined regulatory framework, positions Sweden as an attractive country for nuclear investors. The positive shift in public opinion further strengthens the case for new nuclear projects.



NEXT STEPS

Fortum concluded its new nuclear feasibility study in early 2025, and will now continue to develop its capabilities to have new nuclear as an option to meet future customer demand in the Nordics in the longer term. In addition, Fortum sees the development work as a step in preparing for the eventual replacement of the existing nuclear capacity.

This development phase includes the initiation of a pre-engineering project with three plant vendors: EdF, GE Vernova Hitachi Nuclear Energy, and Westinghouse together with Hyundai Engineering and Construction. Additionally, the aim is to examine the area of the Loviisa power plant and its expansion, including land purchases, for the suitability of additional nuclear power construction and to find an acceptable business case. At the same time a search for a suitable site in Sweden continues.

Pre-licensing dialogue will continue with three vendors in the development phase too, focusing on new topics or expanding existing ones. De-risking the licensing before construction remains essential to avoid costly design changes and project delays in a new nuclear project. Continued dialogue with Nordic nuclear safety regulators is a key part of this strategy. ⚙️

Planning licensing, procurement

Site preparations and licensing, construction, commissioning

2028–2029

Political license, state support approval, technology selection

Early 2030's

Construction license, first concrete

Second half of 2030's

Finalizing construction, commercial operations

MITÄ YDINTURVALLISUUS MAKSAA?

Tässä leikkimielisessä kirjoituksessa haarukoidaan ydinturvallisuuden hintaa Fermi-arviolla lähtien liikkeelle STUKin valvonnan ja vaatimusten kustannuksista. Kirjoituksen tavoite on herättää ajatuksia ja pohdintaa, ei tarjota lopullista totuutta aiheesta.

Teksti ja kuvat: Tapani Raunio

Ydinturvallisuus on yhtä tärkeää ydinvoima-alalle kuin hengittäminen ihmiselle. Ilman turvallisuutta ei tule myöskään tuottaa ydinvoimalla sähköä tai lämpöä. Toisin kuin hengittäminen ydinturvallisuudesta huolehtiminen ei ole ilmaista. Kysymys kuuluu, mikä mahtaa olla ydinturvallisuudesta huolehtimisen osuus ydinvoimalla tuotetun sähkön hinnasta?

STUKIN VALVONNAN KOHTUULLINEN HINTA

STUKin toimintakertomuksesta on jaoteltu eri STUKin toimintojen kustannukset ja kerätyt viranomaismaksut. Toimintakertomuksen perusteella vuonna 2024 ydinenergiaan liittyviä kustannuksia oli 20 miljoonaa euroa, joista 17,2 M€ katettiin erilaisilla maksuilla.



DI Tapani Raunio
Pääsuunnittelija
tapani.raunio@iki.fi

On hyvinkin kohtuullista, että valvonnan tarpeen aiheuttanut taho myös maksaa syntyneet kulut. Tosin koska STUK päättää mitä valvotaan, voidaan kysyä, aiheuttiko STUK myös valvontatarpeen?

Vuonna 2024 Olkiluodon ja Loviisan ydinvoimalaitoksissa tuotettiin sähköä yhteensä 31,2 TWh. STUKin laskuttaman valvonnan suora lisähinta oli siis 55 snt/MWh. Tukkusähkön keskihinta vuonna 2024 oli 46 €/MWh ilman veroja ja sähkön myyjien kuluja, joten STUKin valvonnan hintaa voidaan pitää hyvin kohtuullisena.

Yllä oioittiin sen verran, että kaikki laskutetut kulut kohdistettiin tuotetulle sähkölle, vaikka STUKin ydinturvallisuuden valvontaan liittyy muutakin toimintaa kuten Posivan loppusijoituslaitoksen luvitus.

Koska tällä tuloksella kirjoitus olisi lyhyt ja jopa tylsä, ei tyydytä tähän tulokseen, vaan kaivetaan asiaa lisää. Työkaluiksi otetaan Stetson-menetelmä ja ydinvoima-alan tapa kaivella asioita.

SELVITYKSET EIVÄT SYNNY TYHJÄSTÄ

STUKin YVL-ohjeet sisältävät noin viisikymmentä vaatimusta, jotka kattavat ydinenergian käytön. Olisi naiivia ajatella, että vaatimukset eivät aiheuta minkäänlaisia kustannuksia. Vaatimuksen voidaan katsoa olevan ilmainen, jos voimayhtiö olisi joka tapauksessa toiminnut sen mukaan. Eli ilmaisella vaatimuksella ei ole mitään vaikutusta. Taloustieteen sananparsi ilmaisten lounaiden puuttumisesta sopii tähänkin tilanteeseen.

Voimayhtiöt lähettävät STUKille vuosittain ison kasan erilaisia raportteja ja selvi-

tyksiä. Osa aineistosta on STUKille tiedoksi ja osa hyväksyttäväksi. Oletetaan, että alussa mainitusta STUKin valvontatyöstä 60 % aiheutuu STUKissa näiden aineistojen käsittelystä. Toisekseen oletetaan, että aineiston laadintaan on voimayhtiön päässä kulunut rahallisesti 25-kertainen työaika verrattuna STUKin tarkastukseen menevään aikaan.

Jotta saamme ydinturvallisuuden valvonnan kustannuksia esille, arvioidaan vielä, että 20 % laaditusta aineistosta olisi joka tapauksessa tarvittu ydinvoiman käyttöön, ja 80 % raporteista tai niiden laajuudesta tehtiin STUKin erinäisten vaatimusten vuoksi. Tämän voi ajatella myös niin, että tehtyjen raporttien sivumäärästä 80 % oli tarpeen STUKin vaatimusten ja valvonnan takia ja 20 % ydinvoiman normaalia käyttöä varten.

Tällä tavalla laskettuna $(0,55 \text{ €} * 0,6 * 25 * 0,8)$ STUKin valvontatoiminta kuormittaa voimayhtiöiden toimintaa 6,6 €/MWh lisähinnalla jo aiemmin lasketun 55 snt/MWh lisäksi. Tämä on Fermi-arviolla saatu tulos, mutta ei tyydytä siihen, vaan lisätään kieroksia ja pusketaan täyttää (reaktorilla tuotettua) höyryä eteenpäin.

ARVIOSTA JAKAUMAKSI

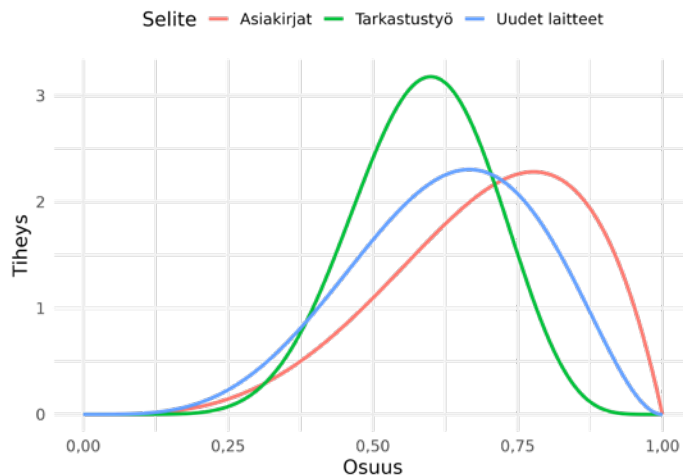
YVL-ohje B.3 käsittelee ydinvoimalaitoksen turvallisuusanalyysia. Koska tämä kirjoitus analysoi turvallisuuden hintaa, tuntuu sopivalta toimia ohjeen B.3 vaatimuksen 410 mukaisesti. Vaatimuksessa edellytetään epävarmuusanalyysin tekoa parhaan arvion menetelmän kaveriksi. Epävarmuustarkastelun tekemisen mielekkyyden tämän kirjoituksen kohdalla voisi kyseenalaistaa, ellei tämä artikkeli ja artikkelin kohdeyleisö kaipaisi kuvaajia.

Epävarmuustarkastelussa siirrytään parhaaseen Stetson-arvioon pohjautuneista muuttujista parhaan arvion jakumiin. Jakaumat kuvaavat sitä, millä alueella muuttujan arvioidaan olevan ja millä todennäköisyydellä.

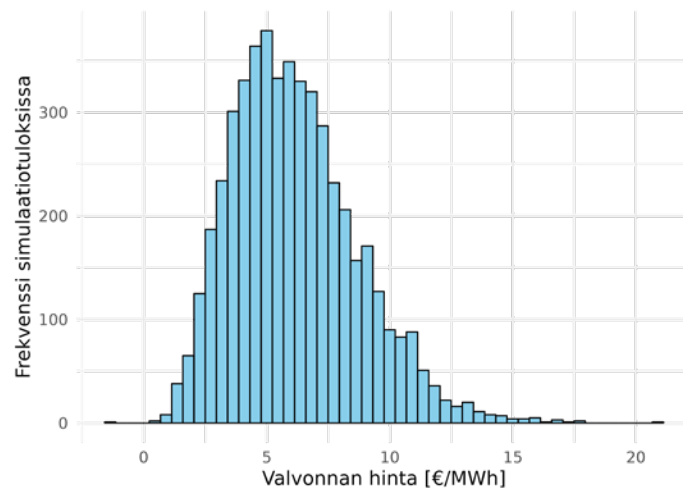
Yksittäinen valvonnan hinta-arvio saadaan arpomalla satunnainen luku kunkin muuttujan omasta jakaumasta. Kun laskeaan 5000 yksittäistä hinta-arviota, tuloksesta muodostuu jakauma, joka samalla esittää saatua hinta-arvioon liittyvän epävarmuuden. Hinta-arvioon lisätään myös STUKin valvontakulut 55 snt/MWh.

Menetelmän tarkempi kuvailu menee aiheen ulkopuolelle, mutta innokkaille simuloijille esitetään tarvittavat jakaumat: STUKin asiakirjojen tarkastamiseen menevän työn osuutta mallinnetaan Beta-jakaumalla parametreille $a=9,25$ ja $b=6,5$ (eli Beta(9,25; 6,5)). Voimayhtiössä asiakirjan laadintaan menevän työn määrän

Lähtöoletusten mallinnuksessa käytetty beta-jakaumat. Selite "asiakirjat" viittaa ydinturvallisuudesta johtuvaan osuuteen aineistosta, "tarkastustyö" STUKin tekemän asiakirjojen tarkastustyön osuuteen maksullisesta valvonnasta ja "uudet laitteet" asiakirjojen osuuteen kokonaiskustannuksista.



Epävarmuustarkastelussa simuloitiin lähtöoletuksien epävarmuuksiin pohjautuen 5000 hinta-arviota ja tulokset esitetään histogrammina.



oletetaan olevan normaalijakautunut keskiarvolla 25 ja keskihajonnalla 7,5. YVL-vaatimuksista johtuva osuus asiakirjojen pituudesta on jakaumana Beta(4,5; 2).

Epävarmuustarkastelun mediaanitulokset on, että lisähinta on 5,9 €/MWh. Tarkastelumme hintahaarukkana on 3,7–9,6 €/MWh, kun hintahaarukkana käytetään 10 % ja 90 % persentileitä. Käytetyillä persentileillä 80 % laskentatuloksista päätyy kyseisen hintahaarukan sisälle.

Verrataan tulosta vielä ydinvoiman parissa työskentelevien ihmisten määrään. Käytetään kustannusarviona 100 t€/henkilötyövuosi. TVO:n nettisivuilla on muuttaman vuoden takainen arvio, että ydinvoima-ala työllistää noin 4000 henkilöä Suomessa. Henkilöstökuluina tämä olisi 400 M€, mikä vuoden 2024 sähköntuotannossa tarkoittaisi 12,8 €/MWh kuluja. Tämän päälle tulisi vielä laitehankinnat, polttoainekulut ja muut investoinnit.

Henkilöstökuluihin verrattuna ydinturvallisuuden valvonnan hinta-arvion yläpää tuntuu liian korkealta, sillä jonkunhan ne

erilaiset selvitykset pitää myös kirjoittaa. Arviomme henkilöstökuluista on toki epätarkka.

Toinen vertailukohta on Helsingin Sanomien artikkelissa vuonna 2022 esitetty arvio, että Olkiluoto 1 ja 2 voimaloiden omakustannehinta on hieman päälle 20 €/MWh. Tähän verrattuna 3,7–9,6 €/MWh arvio voisi sisältää myös oikean ydinturvallisuudesta huolehtimisesta kustannuksen.

ENTÄ UUSI YDINVOIMA?

Aiemmissa kohdissa hinnoiteltiin vaatimuksia normaalitoiminnassa, mutta nyt laajennetaan tarkastelua vielä isoihin modernisointeihin tai jopa uuden ydinvoimalan rakentamiseen. Kun suunnitellaan ja rakennetaan uutta, STUKin tulee hyväksyä suunnitelmien keskeiset ydinturvallisuutta koskevat osat. STUK arvioi ratkaisuiden ja aineiston hyväksyttävyyttä vertaamalla sitä asettamaansa vaatimustasoon.

Nyt pohdittava kysymys on, kuinka suuri lisähinta laitteille ja järjestelmille

tulee suomalaisista ydinvoimavaatimuksista? Tiedon puutteessa otetaan hiharavistuksena arvio, jossa itse laitteiden hinta on kolmannes ja erilaiset paperit 2/3 kokonaishinnasta. Edelliseen tapaan oletetaan, että paperitöistä 80 % aiheutuu STUKin vaatimuksista. Näistä lähtökohdista ei ole yllättävää, että uusien laitteiden ja ydinvoiman kohdalla turvallisuusvaatimuksista aiheutuu 53 % kokonaishinnasta.

Tehdään epävarmuustarkastelu samaan tapaan kahden Beta-jakauman avulla. Paperitöiden osuutta mallinnetaan jakaumalla Beta(5; 3). Tällöin YVL-vaatimusten ja ydinturvallisuuden valvonnasta aiheutuneet kustannukset ovat 23–64 % laitteiden kokonaishinnasta (10 % ja 90 % persentileit). Tosin tuon päälle tulisivat vielä rahoituksesta aiheutuvat kustannukset, jotka nostaisivat ydinturvallisuudesta johtuvien kustannusten osuutta kokonaiskustannuksista.

Hyvä kysymys on, että kuinka paljon näin saatu arvio on pielessä? Ja pessimisti lisäisi vielä, että mihin suuntaan mentiin pieleen?

MITÄ TÄSTÄ OPITTIIN?

Tärkein oppi artikkelista on tietenkin simulaation kultainen sääntö: roskaa sisään, roskaa ulos. Jos lähtöoletukset ovat pielessä, ovat tuloksetkin pielessä. Toisekseen voimme miettiä, kuinka hyvin laskentamallimme soveltuu tähän tapaukseen.

Toinen tapa arvioida sääntelyn todellista hintaa olisi verrata samanlaisia laitosmuutoksia, joista toinen muutos tehtäisiin turvallisuusluokan 2 tai 3 järjestelmälle (TL2 ja TL3) ja toinen järjestelmälle, joka ei ole ydinteknisesti turvallisuusluokiteltu (EYT). Samoin dokumentaation sivumäärästä voisi arvioida kuinka paljon TL2 tai TL3 aiheuttaa ylimääräisiä sivuja verrattuna vastaavaan EYT-järjestelmään. Tämä ei onnistu julkisiin lähteisiin nojautuen.

Toinen oppi tai pikemminkin väite artikkelissa on, että vaatimuksilla on joku kustannus. Tämä pätee niin ydinvoimassa kuin vaikkapa elintarviketeollisuudessa tai normaalissa rakentamisessa. Vaikka tässä artikkelissa on yritetty haarukoida ydinvoimaan liittyvän sääntelyn hintaa, korkeakaan hinta ei tarkoita, että sääntely olisi tarpeetonta. Hengitystä voi pidättää hetken mutta ei loputtomiin.

Ydinvoiman sääntelyn kustannuksia pohtiessa herää toive, että sääntely koskee vain ydinturvallisuuden kannalta merkityksellisiä asioita. Tämä toivon mukaan näkyy STUKin meneillään olevan säännöstöuudistuksen lopputuloksessa. ☸

YDINENERGIALAIN UUDISTUKSEN HYÖTYJEN ETEEN PITÄÄ TEHDÄ TYÖTÄ

Uuden ydinenergilain uudistus etenee pian eduskuntaan. Suunniteltuun voimaantuloon on vähän yli vuosi. Peruslähdekohdat pysyvät entisellään, mutta muutoksia tulee paljon. Nyt koko ydinenergia-alalla on hyvä alkaa viimeistään miettiä, miten muutos vaikuttaa kunkin organisaation toimintaan. Säännöstöuudistus on vasta alku muutokselle – tavoitellut hyödyt saadaan vasta organisaatioiden toiminnan muuttuessa.

Teksti: Jussi Heinonen, Tomi Routamo
Kuvat: Säteilyturvakeskus

Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) johdolla käynnissä olevassa ydinenergilain kokonaisuudistuksessa uusitaan koko paketti eli itse laki ja sen perusteella annettavat asetukset sekä Säteilyturvakeskuksen (STUK) määräykset. Uudistus muuttaa kokonaisvaltaisesti säännöstön rakennetta ja sisältöjä.

Rakenteellisesti laissa esitetään nykyistä paljon kattavammin turvallisuuden perussäädökset, viranomaiskäsittelyä edellyttävät asiat sekä lakia alemman sääntelyn mandaatti. Kaikki vaatimukset

esitetään laissa, asetuksissa tai määräyksissä ja samalla YVL-ohjeet jäävät nyky muodossaan historiaan. Sisällöllisesti tehdään muutoksia, joista esimerkkejä alla.

KYMMENEN VUODEN UUDISTUSHANKE

Ydinenergilain uudistaminen on yksi Petteri Orpon hallituksen tavoitteista. Nykyinen laki on ollut joustava käyttää ja se on toiminut erilaisten ydinenergian käytön hankkeiden luvituksessa ja valvonnassa. Nykyistä lakia on menneinä vuosikymmeninä muutettu yli 30 kertaa. Näiden seurauksena

lainsäädäntökokonaisuudesta on muodostunut monimutkainen ja vaikeasti hahmotettava kokonaisuus.

Lisäksi lainsäädäntökokonaisuus ei edusta nykyaikaista lainsäätelyä ja lakiin kuuluvia vaatimuksia esitetään eri sääntelytasoilla. Valmistelutyötä sisällöllisten muutosten kartoittamiseen on aloitettu jo ennen nykyistä hallitusta muun muassa TEMin vetämissä REILA-hankkeessa, ydinjätehuollon muutostarpeita valmistelleessa YETI-työryhmässä sekä STUKin omissa valmisteluprojekteissa.

STUKin näkökulmasta nykyinen laki on yleispiirteisenä antanut liikkumavaraa, ja YVL-ohjeet poikkeamismahdollisuuksiin ovat mahdollistaneet tilannekohtaista harkintaa. Samalla paikoitelleen yksityiskohtaiset YVL-ohjeet ovat kääntyneet rajoittamaan toiminnanharjoittajan oikeutta ja velvollisuutta miettiä turvalliset ja järkevät ratkaisut. YVL-ohjeisto on tuntunut paikoitellen heikentävän toiminnanharjoittajien vastuunottoa, järkevien turvallisten ratkaisuvaihtoehtojen esittämistä ja kehittyvän teknologian käyttöä ydinlaitoksissa.

Uudistukselle on useita syitä, jotka yhdessä hyvikin perustelevat kokonaisuudistuksen tarvetta. Ehdotusta uudeksi ydinenergilaksi on valmisteltu muutama vuosi ja hallituksen esitys oli lausunkierroksella kesällä. TEMin tavoitteena on lain antaminen eduskunnan käsittelyyn tämän vuoden loppuun mennessä ja lain voimaantulo eduskuntakäsittelyn jälkeen aikaisintaan vuoden 2027 alusta.

SÄÄNNÖSTÖ VASTAA MUUTTUVAAN YDINENERGIAKENTTÄÄN

Uudistuksessa on ollut tarpeen tarkastella uudelleen monia totuttuja toimintamalleja tai oletuksia laitosten ominaisuuksista. Erityisesti kiinnostus pieniin modulaarisin reaktoreihin (SMR) on tuonut uusia mahdollisia käyttökohteita, sijaintipaikkoja ja organisoitumismalleja, joihin nykyinen sääntely ei välttämättä anna mahdollisuutta tai joille kaikki nykyiset vaatimukset eivät ole tarkoituksenmukaisia.

Suomessa tavoitteet hiilineutraaliudesta ovat johtaneet monet kaukolämmöntuottajat miettimään uusia ratkaisuja ja ydinenergian käyttöä yhtenä näistä. On myös ajateltu, että pitemmällä aikajänteellä ydinenergian hyödyntäminen teollisuuslaitosten prosessilämmön lähteenä voisi tulla kyseeseen. Näiden osalta ydinreaktorin sijainti lähempänä kulutusta on tarkoituksenmukaista, mikä edellyttää muutosta nykyiseen oletukseen siitä, että reaktori si-



DI Jussi Heinonen
Johtaja
Säteilyturvakeskus
jussi.heinonen@stuk.fi



DI Tomi Routamo
Apulaisjohtaja
Säteilyturvakeskus
tomi.routamo@stuk.fi

jaitsee harvaan asutulla alueella etäällä yhteiskunnan muista toiminnoista.

Uusia reaktoriteknologioita on monenlaisia, ja nykyinen säännöstö on rakentunut kevytvesireaktoripainotteiseksi, minkä vuoksi teknologianeutraalius on ollut keskeisenä teemana uudistuksessa. Uudet käyttökohteet vaikuttavat tuovan uusia toimijoita alalle, esimerkiksi kaupunkien energiyhtiöt tai teollisuuslaitokset voisivat olla luvanhaltijoina.

Näillä ei välttämättä ole kuitenkaan halua kasvattaa omaa organisaatiotaan nykyisten ydinvoimayhtiöiden kaltaiseksi kokonaisvaltaiseksi ydintekniikan osaajiksi, vaan he saattaisivat hyödyntää muita organisaatioita palvelutuottajina laitoksen käytön ja kunnossapidon osalta. Laki ja muu säännöstö on ollut tarpeen muokata näihin tilanteisiin sopivammaksi. Jakamaton vastuu turvallisuudesta säilyy luvanhaltijoilla, mikä edellyttää riittävää kyvykkyyttä kokonaisuuden hallitsemiseksi myös luvanhaltijan omassa organisaatiossa.

MÄÄRÄYSKOKONAISUUS UUDISTUU

Laista on siis tulossa nykyisiä merkittävästi kattavampi ja YVL-ohjeet nyky muodossaan poistuvat. Mitä on tulossa STUKin määräyksiin?

Nykyisestä ydin- ja säteilyturvallisuuden tasosta halutaan pitää kiinni, mahdollistaen samalla paremman riskitietoisuuden, kehittyvän teknologian hyödyntämisen ja erilaiset ydinenergian käyttökohteet. STUKin uusissa määräyksissä tämä näkyy siten, että kokonaisuus kattaa samat asiat kuin aiemmin, mutta vaatimuk-



TEM ja STUK ovat järjestäneet lakiuudistuksen valmistelun edetessä useita keskustelutilaisuuksia alan toimijoiden kanssa. Yhteistä keskustelua on tarpeen jatkaa ja pyrkiä keskustelun kautta muodostamaan yhteinen ymmärrys muutoksista ja uuden säännösten soveltamisesta.

set esitetään vähemmän yksityiskohtaisina. STUK on käynyt läpi tiettyyn teknologiaratkaisuun perustuvia vaatimuksia, "Suomi-spesifisiä" vaatimuksia ja yleisemmin, mitä asioita viranomaisen on tarvetta säädellä.

STUK on hyödyntänyt määräysten valmistelussa YVL-ohjeisiin sisällytettyä tietoa ja kokemusta, mutta samalla pyrkinyt tarkastelemaan kriittisesti, mistä asioista on tarpeen asettaa vaatimuksia. STUK on tällä hetkellä valmistelemaan 23 määräystä. Määräysten aiheet noudattelevat YVL-ohjeista tuttuja kokonaisuuksia.

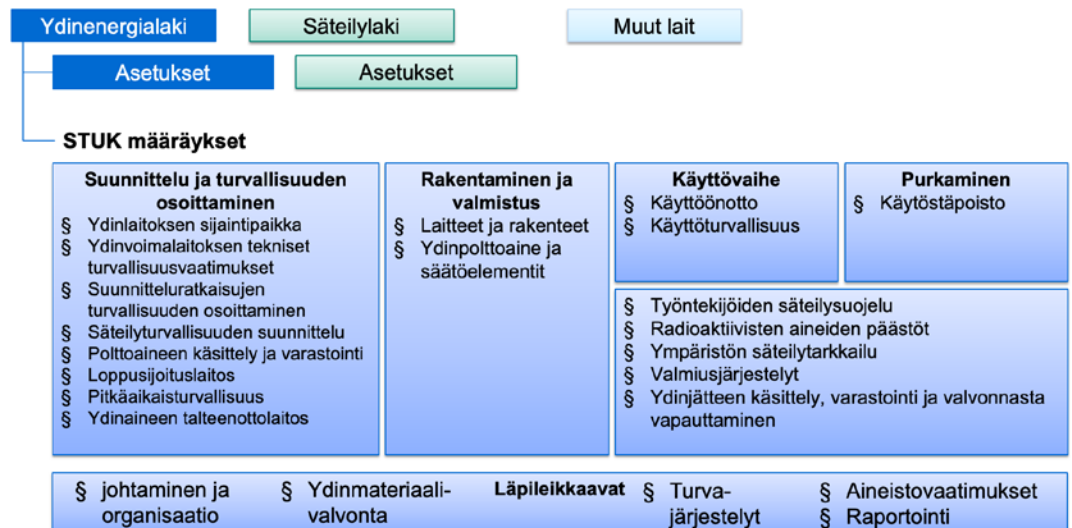
Määräykset tarkentavat lain perusvaatimuksia ja ovat teknisluonteisia lakitekniiksessä mielessä, eli niissä ei esitetä uusia vaatimuksia vaan tarkennetaan laissa olevaa perusvaatimusta. Määräyksiin on tu-

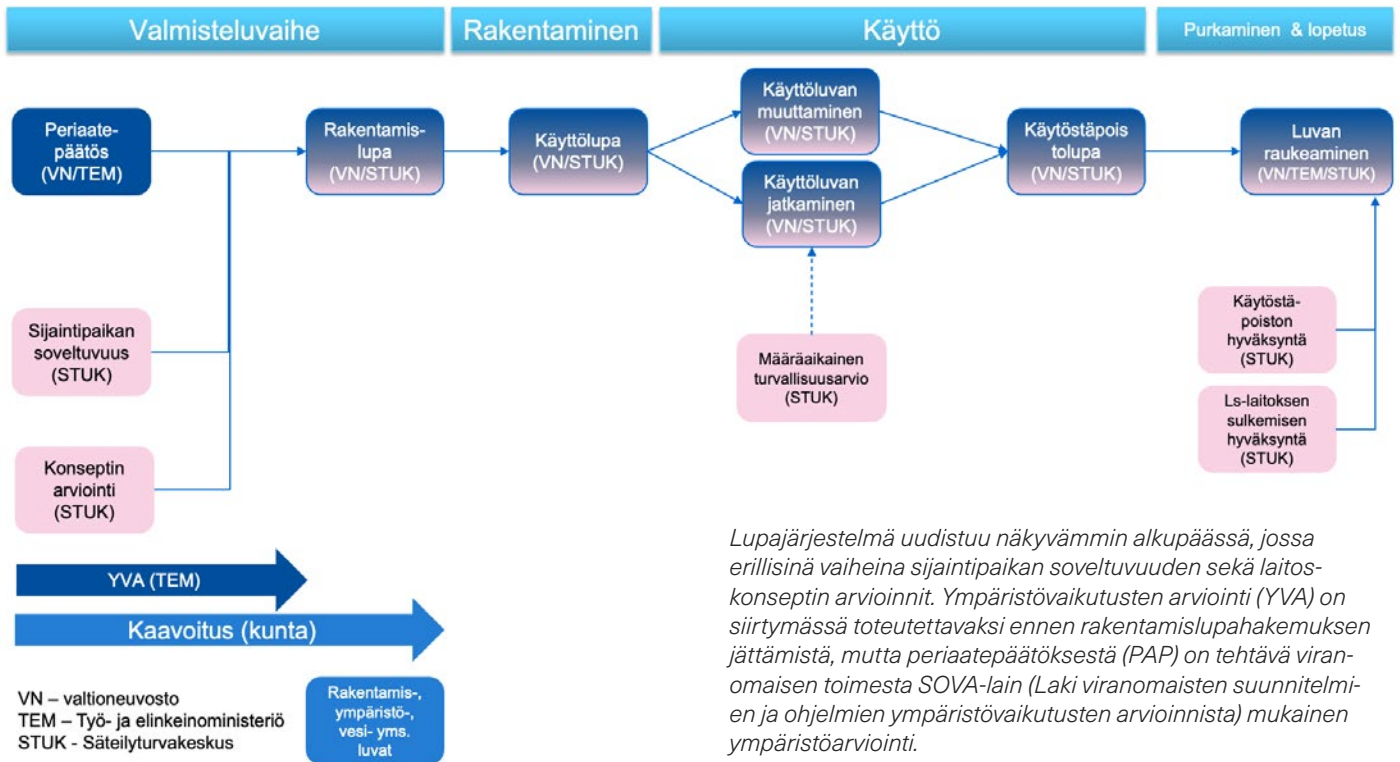
lossa arviolta 1 200–1 400 vaatimusta, kun YVL-ohjeissa erillisiä numeroituja kohtia on yli 8 000 ja vaatimuksia noin 6 500. Määräysten on tarkoitus kuvata mitä on tehtävä ja toimijoiden tehtävänä on miettiä miten ja osoittaa ratkaisun turvallisuus. Tällä muutoksella tavoitellaan toimijoiden vastuun korostumista ja erilaisten toimintamallien käyttöönoton helpottamista.

LUPAJÄRJESTELMÄ

Yhteiskunnan suuntaan näkyvin muutos koskee ydinlaitosten lupajärjestelmää. Hallitusohjelman tavoitteiden suuntaisesti luvitusta pyritään sujuvoittamaan ja samalla huomioimaan erilaiset ydinlaitokset. Lupien päävaiheet pysyvät samannimisiksi, mutta sisältöön tulee muutoksia.

STUKin uuteen määräyskokoelmaan on tulossa 23 määräystä. Määräykset kattavat vastaavat aihealueet kuin nykyiset YVL-ohjeet, mutta vaatimusten määrä on vähentymässä merkittävästi. Uudessa säädöskokonaisuudessa vaatimuksia ei toisteta eri tasoilla eli on ehdottoman tärkeää tuntee lakien, asetusten ja määräysten muodostama kokonaisuus.





Lupajärjestelmä uudistuu näkyvämmiin alkupäässä, jossa erillisinä vaiheina sijaintipaikan soveltuvuuden sekä laitoskonseptin arvioinnit. Ympäristövaikutusten arviointi (YVA) on siirtymässä toteutettavaksi ennen rakentamislupahakemuksen jättämistä, mutta periaatepäätöksestä (PAP) on tehtävä viranomaisen toimesta SOVA-lain (Laki viranomaisten suunnitelmien ja ohjelmien ympäristövaikutusten arvioinnista) mukainen ympäristöarviointi.

Lakiehdotuksessa esitetään, että valtioneuvosto tekisi jatkossakin lupapäätökset ydinvoimalaitoksille, loppusijoituslaitoksille ja polttoaineen tuotantolaitoksille. STUK toimisi lupaviranomaisena erillisille ydinteknisille laitoksille, ydinaineiden talteenottolaitoksille ja maaperäloppusijoitukselle.

Ydinteknisiä laitoksia ovat esimerkiksi käytetyn ydinpolttoaineen ja ydinjätteen käsittely- ja varastointilaitokset. Ydinaineen talteenotto tarkoittaa uraanin tai toriumin tuottamista ja tällainen laitos on esimerkiksi Terrafamen uraanin talteenottolaitos. STUKin luparoolin laajentamisella tuodaan riskitietoisuutta lupajärjestelmään ja muutetaan luvitusta yhtenäisempään suuntaan muun suuronnettomuusriskin omaavan teollisuuden kanssa.

Ydinlaitoshankkeen ensimmäinen yhteiskunnan kokonaisedun arviointi tapahtuisi periaatepäätöksessä, joka olisi nykyistä yleisluonteisempi. Periaatepäätöksessä ei jatkossa käsiteltäisi sijaintipaikan soveltuvuutta tai ydinlaitoksen teknistä turvallisuutta. Poliittinen päätöksenteko kohdistuisi energiapolitiiseen, kokonaisturvallisuuskäsitteiden ja hankekehittäjän edellytyksien arviointiin.

Sijaintipaikan ja laitoksenkonseptin oikea-aikainen arviointi on tärkeää ja uudessa lupajärjestelmässä STUK arvioisi näitä toiminnanharjoittajan hakemuksen perusteella omina vaiheinaan ennen rakentamis-

lupahakemuksen jättämistä. Sijaintipaikan käsittelyyn liittyy myös suojavyöhykkeen ensimmäinen arviointi ja kytkentä kaavoitusprosessiin.

Varsinaisia lupavaiheita olisivat edelleen rakentamis-, käyttö- ja käytöstäpoistoluvat. Jatkossa niiden myöntämisen edellytyksiin liitettäisiin nykyistä täsmällisemmin STUKin hyväksyntä turvallisuuteen liittyvien asioiden osalta. Rakentamisluvan myöntämisen edellytykset olisivat vastaavaa tasoa, mitä tähänkin saakka on odotettu. STUKin hyväksynnän edellytyksenä olisi muun muassa laitos- ja järjestelmäsuunnittelun riittävä kypsyy.

Käyttölupien on uudessa laissa esitetty olevan määräaikaista. Käyttölupien jatkamisesta on pyritty suoraviivaistamaan ja jatkoikäyttölupaan myönnettäisiin laissa mainittujen edellytysten täyttyessä. Nämä edellytykset olisivat ajantasainen määräaikainen turvallisuusarvio sekä ydinenergian käytön vaatimusten noudattaminen.

Käytöstäpoistolupavaihetta on selkeytetty. Ajatuksena on, että käytöstäpoistolupa koskisi varsinaista ydinlaitoksen purkamisvaihetta. Esimerkiksi ydinvoimalaitoksen valmistelevat työt, kuten polttoaineen siirto laitokselta, tehtäisiin käyttölupien alla. Luvitusjärjestelmän muutoksilla pyritään tekemään selkeytyksiä ja sujuvoittamista hankkeiden läpiviemisiin ja ydinlaitosten käyttöjaksolle.

VALMIUSVYÖHYKKEET

Säännöstöuudistukseen lähdettäessä tunnistettiin jo varhaisessa vaiheessa, että silloiset vaatimukset ydinlaitosten suojavyöhykkeestä ja varautumisalueesta eivät välttämättä suoraan sovellu SMR-laitoksille. Pienen kokoluokan laitokset ja tavoite hyödyntää ydinenergiaa myös kaukolämmön tuotantoon tai teollisuuslaitoksen lämmönlähteenä edellyttivät jotakuinkin kiinteiksi asetettujen etäisyyksien – suojavyöhykkeelle 5 km ja varautumisalueelle 20 km – määrittämistä aikaisempaa joustavammiksi. Erityisesti suojavyöhykkeen laaja alue ja siihen kohdistuvat maankäyttörajoitukset sekä epäsuorana oletuksena laitoksen sijainti harvaan asutulla alueella olisivat hankalia sellaisille laitoksille, joiden on käytännöllisistä syistä sijaittava lähellä tuotannon kuluttajia.

STUK toteutti ennen menossa olevaa laajaa määräysuudistusta muutoksen vyöhykkeiden määrittämisen perusteisiin. Helmikuun 2024 alusta voimaan tulleen valmismääräyksen perusteella suojavyöhyke ja varautumisalue asetetaan tapauskohtaisesti laitoksen turvallisuusominaisuudet huomioiden. Muutos haluttiin tehdä, jotta uusien laitospaikkojen kartoitus ja kaavoitusprosessit voisivat käynnistyä jo ennen säännösten kokonaisuudistusta.

Valmiustoiminta katsotaan perinteisessä syvyyspuolustusajattelussa viimei-

seksi tasoksi, jossa voidaan väestön suojaustoimin vähentää säteilyaltistusta. Perusajatuksena on, että vaikka laitos olisi hyvin suunniteltu, niin valmiustoiminnalla vastataan sellaisiin tilanteisiin, joissa kaikista laitoksen toimista huolimatta tapahtuu väestön suojaustoimia edellyttävä päästö.

Suojavyöhykkeen ja varautumisalueen määrittämisessä on tarkasteltava tilannetta, jossa onnettomuudenhallintatoimenpiteet laitoksella eivät ole riittäneet estämään merkittävää radioaktiivisten aineiden päästöä ympäristöön. Paljon keskustelua on herättänyt se, millaista tilannetta alueiden määrittämisessä pitäisi käytännössä tarkastella. Säännöstössä analysoitavaa tilannetta ei määritetä tarkasti, koska kaikille erilaisille laitoksille sopivaa yhtä lähtökohtaa on vaikea määrittää.

VYÖHYKKEIDEN KRITEREINÄ ANNOSRAJAT

Suojavyöhykkeellä tarkoituksena on määrittellä sellainen alue laitoksen ympärille, joka voidaan tarvittaessa nopeasti evakuoidea säteilyn välittömien haittavaikutusten estämiseksi. Kriteerinä on, että 1 Sv:n annos 10 tunnin kuluessa altistuksen alusta ei ylitä alueen ulkopuolella. Tavoitteena on, että onnettomuustilanteessa suojavyöhyke voidaan evakuoida tehokkaasti ja ennakoivasti.

Kriteeriksi asetettu annos on korkea verrattuna siihen, millaisia annoskriteerejä säännöstössä yleensä käsitellään. On hyvä muistaa, että tässä tavoitteena on estää säteilyn välittömiä haittavaikutuksia, joita

ilmenee vasta varsin korkeilla ja lyhyessä ajassa saaduilla annoksilla. Tavanomaiset rajoitukset pyrkivät estämään myöhäisiä haittavaikutuksia.

Varautumisalue määritetään sellaiseksi, että onnettomuustilanteessa sen ulkopuolella ei olisi tarvetta sisälle suojautumiseen. Kriteerinä on, että sen ulkopuolella ei ylitetä 10 mSv:n annosta kahden vuorokauden kuluessa altistuksen alusta. Käytännön järjestelyjen kannalta varautumisalue voidaan kuitenkin rajoittaa ulottuvan enintään 20 km:n etäisyydelle laitoksesta. Varautumisalueelle ulottuvilla suojelutoimilla pyritään rajoittamaan säteilyn myöhäisiä haittavaikutuksia.

Suojavyöhykkeen ja varautumisalueen tarkoitus suojautumisen näkökulmasta on siis erilainen, minkä vuoksi niiden määrittämisperusteena olevat tilanteet on syytä valita erilaisiksi. Lakitasolla tätä eroa ei tarkemmin määritellä, vaan siitä annetaan täsmällisempi kuvaus STUKin määräyksessä.

Kumpakin aluetta määritettäessä on käsiteltävä onnettomuustilanteita, jotka ovat pahempia kuin mihin ydinlaitoksen suunnittelussa on varauduttu. Suojavyöhykkeen osalta on lisäksi oletettava, että laitoksen kyky rajoittaa päästöä ympäristöön on merkittävästi heikentynyt. Tällaisessa lähestymistavassa on otettu huomioon, että suojavyöhykkeen määrittämiseksi valittu tilanne on ympäristön kannalta pahempi kuin varautumisalueen määrittämisessä käytetty.

Laitospaikkaa valittaessa näitä alueita jo hahmotellaan ja kaavoitusmielessä erityisesti suojavyöhyke saatetaan kiinnittää

jo varhaisessa vaiheessa jatkosuunnittelua varten. Tässä vaiheessa ei välttämättä ole täsmällistä tietoa laitoksesta, joten suojavyöhykkeen asettaminen voi tällaisessa tapauksessa välillisesti asettaa odotuksia laitoksen turvallisuudelle.

Lopullisesti vyöhykkeet kiinnitetään rakentamislupavaiheessa, kun laitoksesta on täsmällistä tietoa tarvittavien arvioiden tekemiseksi. On hyvä ymmärtää, että valmiusvyöhykkeet määritellään valmiustoiminnan suunnittelun ja mitoittamisen näkökulmasta, eivätkä niihin liittyvät vaatimukset suoraan ohjaa laitoksen suunnittelua.

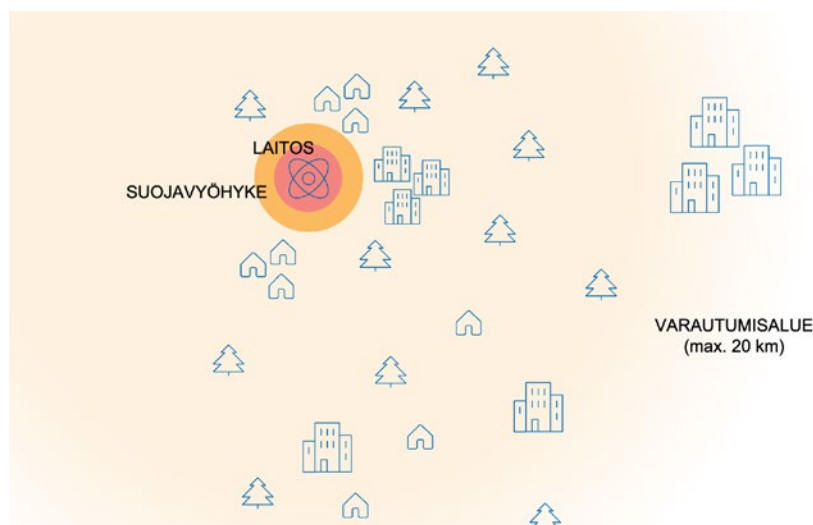
PÄÄSTÖKRITEEIT

Ydinenergilakiin on tarkoitus nostaa nykyisin ydinenergia-asetuksessa esitetyt periaatteet vakavan onnettomuuden päästöille. ”Väestön suojautumistoimia ydinlaitoksen onnettomuuden aikaisessa vaiheessa edellyttävän radioaktiivisten aineiden päästön mahdollisuuden on oltava erittäin pieni. Väestön laajoja suojautumistoimia tai pitkäaikaisia laajojen maa- ja vesialueiden käyttörajoituksia edellyttävän ydinlaitoksen onnettomuudesta aiheutuvan radioaktiivisten aineiden päästön mahdollisuuden on oltava erittäin pieni.”

Periaatteet ovat siis säilyneet ennallaan, vain säädöstaso on muuttunut, eikä enää eksplisiittisesti mainita vakavaa onnettomuutta. Edellä ”laajojen maa- ja vesialueiden käyttörajoitukset” on ymmärrettävä laajavaikutteisina rajoituksina, sillä laitoksen ympäristössä voisi olla yhteiskunnallisia toimintoja, joiden menettäminen tai häiriintyminen voisi merkittävästi haitata yhteiskunnan toimintaa. Lisäksi lakiin olisi tulossa periaate: ”Väestön potentiaalisen altistuksen on oltava sitä pienempi, mitä todennäköisemmästä häiriö- tai onnettomuustilanteesta on kyse.”

Päästökriteerit on tarkoitus esittää nykyiseen tapaan valtioneuvoston asetuksessa. Nykyiset vuosiansnosrajat tavanomaiselle käytölle (0,1 mSv), käyttöhäiriöille (0,1 mSv), oletetuille onnettomuuksille (1 mSv ja 5 mSv) sekä oletettujen onnettomuuksien laajennuksille (20 mSv) pysyvät ennallaan ydinvoimalaitosten osalta.

Käytöstäpoistolle ja ydinjätelaitosten tavanomaiselle käytölle sen sijaan sallitaisiin nykyisen 0,01 mSv:n sijasta sama 0,1 mSv:n annos kuin ydinvoimalaitosten tavanomaiselle käytölle, sillä tämän katsotaan olevan riittävä säteilyn haitallisten vaikutusten välttämiseksi. Oletuksiin itse tapahtumien analysoinnissa ei ole tulossa muutoksia, ja annoslaskennan osalta varmistetaan, ettei niihin edellytetä sisällytettävää tarpeetonta konservatiivisuutta.



Suojavyöhyke ja varautumisalue asetetaan jatkossa tapauskohtaisesti. Muutos mahdollistaa ydinlaitosten sijoittamisen lähemmäs asutusalueita tai teollisuutta, mutta edellyttää toiminnanharjoittajalta perusteltua ehdotusta alueiden koosta

PÄÄSTÖKRITEERISTÖÖN MUUTOKSIA

Nykyiset vakavan onnettomuuden varalle asetetut rajoitukset eivät kaikilta osin ole enää toimivia edellä esitetyn suojavyöhykkeen ja varautumisalueen määräytymisperusteiden muutosten jälkeen. Esimerkiksi 100 TBq:n ¹³⁷Cs-päästö on katsottu riittäväksi estämään laajojen maa- ja vesialueiden pitkäaikaiset käyttörajoitukset laitoksen sijaitessa harvaan asutulla alueella, mutta lähempänä tiheää asutusta tai yhteiskunnan tärkeitä toimintoja kriteeri ei ole riittävä suojelutavoitteen saavuttamiseen.

Valtioneuvoston asetukseen on tätä varten valmisteltu uudenlaista päästökriteeristöä, jotka on ajateltu selkeyden vuoksi kytkeä samalle alueelle kuin edellä kuvattu suojavyöhyke. Valmiustoimintaa varten määritetyn alueen käyttäminen laitoksen suunnitteluperusteiden määrittämiseen ei ole ihan puhdasoppista.

Päästökriteeriä ja siihen kytkettävää aluetta voitaisiin myös tarkastella tapauskohtaisesti huomioiden suunnitellun laitoksen sijaintipaikan ympäristöä ja päästön vaikutusta siihen. Tämä ei kuitenkaan tukisi ennakoitavuutta riittävän hyvin ja voisi vaikeuttaa yleistä hahmottamista erilaisten vyöhykkeiden ja etäisyyksien merkityksestä. Valmiustoimintaa varten määritetyllä suojavyöhykkeellä ei voi olla sellaisia toimintoja, ettei väestön tehokas evakuointi laitoksen onnettomuustilanteessa olisi mahdollista. Tämä näkökulma osaltaan tukee sitä, että samaa aluetta voitaisiin käyttää myös päästökriteerin yhteydessä.

Päästökriteeri koostuu kahdesta osasta, joiden tavoitteena on välttää väestöä koskevat laajat suojelutoimet sekä laajavaikutteiset maa- ja vesialueiden pitkäaikaiset käyttörajoitukset. Väestön suojelemiseksi suojavyöhykkeen ulkopuolella viikon kuluessa kertyvä annos ei saa ylittää 20 mSv. Asetettava 20 mSv:n raja ei kuitenkaan ole sama kuin edellä mainittu rajoitus oletettujen onnettomuuksien laajennuksille, sillä tarkasteluaika on lyhyempi. Näin ollen myöskään ravintoketjuja ei ole tarpeen sisällyttää altistusreitteihin, kuten tehdään muissa edellä käsitellyissä rajoituksissa.

Laajavaikutteisten maa- ja vesialueiden pitkäaikaisten käyttörajoitusten välttämiseksi on päädytty asettamaan rajoitus onnettomuuden seurauksena aiheutuvalla aktiivisuuskatteella laitoksen ympäristössä: kuukauden kuluttua onnettomuuden alusta aktiivisuuskate ei saa ylittää arvoa 1 MBq/m² suojavyöhykkeen pinta-alaa laajemmalla alueella.

Valittu aktiivisuuskaterajoitus katsotaan STUKin ohjeessa VAL 1 alarajaksi voimakkaasti kontaminoituneelle laskeumalle, ja se on myös ohjeellinen toimenpidetaso alueiden puhdistamiseksi sekä evakuoinnin tai väliaikaisen väestönsiirron lopettamiseksi. Aktiivisuuskatteen osalta tarkastellaan voimakkaita gamma- ja beetasäteilijöitä, joista kevytvesireaktoreille tässä yhteydessä tärkeimmät ovat ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs sekä ¹³¹I. Kuukausi on katsottu kestoksi sille, että toimet ovat pitkäkestoisia. Riippuen analyysioletuksista asetetut rajoitukset voivat ulottua myös suojavyöhykkeen ulkopuolelle, mutta alueen pinta-ala saisi olla korkeintaan suojavyöhykkeen pinta-alaa vastaava.

MYÖS TOIMIJOIDEN ON MUUTUTTAVA

Uudessa säännöstössä on tarkoituksena esittää turvallisuuteen liittyvät tavoitteet, mutta ei ratkaisuja niiden täyttämiseksi. Pyrkimyksenä on säilyttää turvallisuustaso ja antaa liikkumavaraa erilaisille ratkaisutavoille. Tätä tarkoitamme mahdollistavalla säännöstöllä ja tällä on myös tavoitteen korostaa toiminnanharjoittajan vastuuta.

Säännöstö on tärkeä lähtökohta, mutta ei yksinään tee muutosta. Toiminnanharjoittajien tehtävä on miettiä, miten uuden säännöstön pohjalta tehdään järkevää ja kannattavaa liiketoimintaa turvallisesti. Uudistuksen hyödyt saavutetaan vasta toiminnan muuttuessa. Toiminnanharjoittajien kannattaa siis pysähtyä miettimään toimintatapojaan ja suunnitteluratkaisuja uuden säännöstön näkökulmasta.

Osin säännöstö myös edellyttää muutumaan. Lainsäädäntö sisältää joitakin uusia vaatimuksia ja uusia asioita viranomaiselle toimitettavaksi. Nykyisille toimijoille muutokseen annetaan siirtymäsäännösten kautta muutama vuosi aikaa lain voimaantulosta. Muutoksiin kannattaa valmistautua ajoissa, koska laissa edellytetyistä asioista STUK ei voi poiketa.

Uudistus tarkoittaa muutoksia myös STUKille. Hyväksyttäviä asioita vähennetään, tavoitteena on kohdentaa resursseja entistä riskitietoisemmin ja STUKin rooli luvituksessa muuttuu. Uudelleenkirjoitettu lainsäädäntö pitää yleensäkin tuntea, ymmärtää vaatimusten taustat ja osata käyttää vaatimuksia oikealla tavalla valvonnassa.

Lainsäädännön uudistus tarkoittaa muutosta kaikille ja edellytyksenä on uuden säännöstön yhtenäinen ymmärrys. Yhteistä ymmärrystä kannattaa hakea yhteisen keskustelun kautta. Lain ja

määräysten lausuntokierrosten jälkeen on hyvä miettiä, miten ja kenen toimesta yhteinen keskustelu ydinalalla järjestetään.

MITÄ SEURAAVAKSI?

Lainsäädännön uudistus on erittäin iso työ valmisteluun osallistuville ja vaikutukseltaan merkittävä koko alalla. Odotukset ovat hallitusohjelman kirjauksista lähtien korkealla ja toivottavasti näihin pystytään vastaamaan.

TEMin johdoilla valmisteltu lakiluonnos oli kesällä lausunnoilla ja STUKin määräykset on tarkoitus laittaa lausuntokierrokselle syksyn aikana. Toivottavasti mahdollisimman moni käyttää tämän mahdollisuuden ja kertoo näkemyksensä. Näin saamme aikaiseksi parhaan mahdollisen säännöstökokonaisuuden.

Työ jatkuu lausunnoissa esitetyn palautteen käsittelyllä ja tekemällä tarvittavat muutokset lakiesitykseen ja määräysluonnoksiin. Määräysten valmistelun rauhoittuessa alamme STUKissa keskittyä ohjeisiin. Ohjeet ovat jatkossa nimenomaisesti vain ohjeita, eli niissä ei esitetä vaatimuksia.

Säädöstössä säilyy tuttuja asioita, mutta paljon tulee myös uutta. Kuten todettua, yhteisen ymmärryksen muodostaminen uudesta säännöstöstä tulee tarvitsemaan aikaa ja yhteistä keskustelua. 

POSIVAN YHTEISTOIMINTAKOE – LOPPUSIJOITUKSEN KENRAALIHARJOITUS

Posivan ydinlaitosten (kapselointilaitos ja maanalainen loppusijoituslaitos) käyttöönotto hui pentuu yhteistoimintakokeeseen. Oman väen kesken YTK tai englannin kielellä TRFD (Trial Run of Final Disposal) on osa Posivan tuotantoon valmistautumista ja sen päätavoitteena on varmistaa loppusijoitusvalmiuden osoittaminen Posivan ydinlaitoksilla.

Teksti: Johanna Hansen, Kimmo Kempainen
Kuvat: Posiva Oy

Ennen YTK-vaiheeseen pääsemistä on kuljettu pitkä matka suunnittelun, rakentamisen, testien, demonstraatioiden ja käyttöönoton kanssa. Rinnalla on kehitetty organisaatiota, menettelyjä, oh-

jeistuksia ja valmistauduttu siirtymään tuotantovaiheeseen. Eikä sovi unohtaa luvitusta, jota tehdään useilla tasoilla.

Käyttölupahakemus toimitettiin TEM:lle joulukuussa 2021 ja samanaikaisesti STUK:ille Ydinenergia-asetuksen 36§ mukaiset FSAR-aineistot ja turvallisuusperusteluaineisto. Aineistoja on käyttöönoton eri vaiheissa päivitetty ja täydennetty ja Posivan hankkeen etenemistä on seurattu tiukasti myös Jokiniemestä käsin. Ja ihan hetken kuluttua Posiva käyttää maailman ensimmäistä käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitosta.

Vielä on yhteistoimintakoe maan alla suoritettava mallikkaasti ja otettava sen kokemuksista opiksi. Myös kannen avauslupaa varten tuotantokäytön aloittamiseksi on vielä tehtävää, jotta voidaan osoittaa myös viranomaiselle Posivan kyky toimia luvanhaltijana.

ERO DEMOJEN JA YTK:N VÄLILLÄ

Miten yhteistoimintakoe sitten eroaa aikaisemmista täyden mittakaavan demonstraatioista tai testeistä? Posivalla-

han on ONKALOSSa asennettuna täyden mittakaavan järjestelmätesti, jossa protolaitteilla asennettujen EBS-komponenttien toimintaa seurataan jo kahdeksatta vuotta.

Yhteistoimintakokeessa testataan loppusijoituksen eri vaiheet maan päällä ja maan alla sisältäen kapselointiprosessin ja loppusijoitusprosessin, ja kaikki työvaiheet toteutetaan tuotantolaitteilla ja käyttöön otetuilla järjestelmillä. Teknisten vapautumisesteiden osalta on hankinnat toteutettu hyvin pitkälle vastaavasti kuin tuotannon aikana poikkeuksena kapselikomponentit, jotka ovat olleet T&K-vaiheen komponentteja.

Oikeaa ydinpolttoainetta ei tietenkään YTK:ssa käsitellä, vaan polttoaine-elementit on korvattu painoilla ja harjoitusnpuilla, joita siirrettiin testisiirtosäiliöstä käsittelykammioon. Myös joitakin säteilysuojeluun ja kemian näytteenottoihin liittyviä käytäntöjä sekä muutamia valvonta-alueen järjestelmiä pitää viimeistellä ennen polttoaineen vastaanottamista laitokselle. YTK:n aikana on harjoiteltu myös ydinmateriaalivalvontaa raportointineen.

MONIVAIHEINEN PROSESSI

Posiva siirtyi käyttövaiheen organisaatioon kesällä 2024 ja elokuun lopussa käynnistyi yhteistoimintakoe kapselointilaitoksella. Intensiivisen syksyn aikana kokoonpantiin kapsелеita ja siirrettiin "kuivattua polttoainetta" kapseloihin, jotka hitsattiin ja tarkastettiin ja siirrettiin kapselointilaitoksen kapselivarastoon odottamaan kuljetusta maanalaiselle loppusijoituslaitokselle. Kun valmiiden kapseloiden rakennetarkastukset oli "hyväksytty", niin kapselit kuljetettiin kapselihissillä maan alle varastoon odottamaan pääsyä kapselin siirto- ja asennusajoneuvon kyytiin.

Yhteistoimintakoe yhtenä erikoisuutena oli osoittaa, että kapselin palautus on mahdollista. Yhden kapselin osalta tehtiin kapselointiprosessi päinvastaisessa järjestyksessä ja harjoitusniput poistettiin aukokoneistetusta kapselista polttoaineen siirtokoneen avulla.

Yhteistoimintakoe kapselointilaitoksella päättyi onnistuneesti tammikuussa 2025 ja kokemukset raportoitiin kevään 2025 aikana. Seuraavaksi yhteistoimintakoe siirtyy maan alle, kun tuotantolaitteiden menetelmäkokeet on saatu suoritettua ja laitteet on viritetty tuotantoon. Samanaikaisesti Posivan operaattoreiden harjoitusohjelmaa ja lisätestauksia viedään eteenpäin ja hankitaan komponentteja ensimmäistä tuotantojaksoa varten.



FM Johanna Hansen
Vanhempi asiantuntija
Posiva Oy
Johanna.Hansen@Posiva.fi



FM Kimmo Kempainen
Rakennuttamispäällikkö
Posiva Oy
Kimmo.Kempainen@Posiva.fi



YHDESSÄ TÄTÄ TEHDÄÄN

Viime vuodet ovat olleet mielenkiintoisia, kun siirtyminen Posivan projektiorganisaatiosta tuotantovaiheeseen kaikkine koulutuksineen ja perehdytyksineen ydinlaitosten erityispiirteiden opetteluun ja hallintuottoon on ollut käynnissä. Onneksi tukena ovat toimineet molemmat Posivan omistajat, ja Olkiluodossa on ydinlaitos-

osaamista ja resursseja saatu Posivan käyttöön käyville laitoksilta.

Posivalaisten ei ole tarvinnut olla eristyksissä, vaan koko kansainvälinen loppusijoitusyhteisö on kovasti ollut kiinnostunut Posivan hankkeen etenemisestä. Vieraita olisi tulossa paljon enemmän, kuin on mahdollista ottaa vastaan. Yhteistoimintakoetta seuraa Posiva Solutions -konsultoinnin kautta kourallinen organisaatioita ympäri

Käytön aikana loppusijoituslaitoksen kapselivarastoon mahtuu 30 kapselia, joten neljällä kapselilla on tilaa hyvin. Posivan ja Ydinturvallisuusneuvottelukunnan tapaamisen yhteydessä oli harvinainen tilaisuus päästä näkemään kapselit liveä.

maailmaa, ja näin arvokkaat opit saadaan myös välitettyä organisaatioille, joiden matka loppusijoitukseen on vasta alussa. 

ONNEKSI ON OLKILUOTO

tvo

    tvo.fi

FINLAND'S RECENT RESEARCH ACTIVITIES ON RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT WITHIN THE EURATOM PROGRAMME

Erika Holt¹, Louise Theodon²

¹VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, ²French National Agency for Radioactive Waste Management (Andra)

EURAD-2 as the European Partnership on Radioactive Waste Management (2024-2029) was recently launched within the Euratom programme. There are currently eight Finnish partners participating, with a cost budget over 4 million euros within 15 of the 16 technical work packages. This article describes the objectives of each work package with the hope for greater engagement and interest from a wider group of Finnish stakeholders.

EURAD-2, eurooppalainen radioaktiivisen jätteen käsittelyä koskeva kumppanuusohjelma (2024–2029), käynnistettiin äskettäin Euratom-ohjelman puitteissa. Ohjelmassa on mukana tällä hetkellä kahdeksan suomalaista kumppania, jotka osallistuvat 15 tekniseen työpakettiin 4 miljoonan euron budjetilla. Tässä artikkelissa kuvataan kunkin työpaketin tavoitteet toiveena herättää yhä useampien suomalaisten sidosryhmien kiinnostus.

The European community of radioactive waste management has a history spanning decades for cooperation in research, development, and demonstrations (RD&D) to advance solutions and enhance safety of both pre-disposal and disposal issues associated with nuclear power production and other waste streams. The European Commission within the Horizon Europe programme's Euratom has supported the continuation of the European Partnership on Radioactive Waste Management (EURAD-2) for 2024-2029, building on the previous projects of EURAD-(1) and PREDIS [1,2].

EURAD-2 gathers 144 organisations from 28 countries. 51 of these European organisations have a mandate by their national ministries for involvement. 23 of the organisations are Associated Partners from outside the Euratom programme, including groups from Norway, Switzerland, United Kingdom, Japan, South Korea, and the United States.

The governance structure (as seen in Figure 1) is founded on representation of mandated actors in the General Assembly, who approve the work plans and programme scope. Oversight of programme excellence and impact is done internally by the Programme Management Office with support of the Chief Scientific Officers, while an External Advisory Board also keeps the activities of EURAD-2 linked to wider cross-disciplinary groups. The EC contributes 60% of the budget, thus co-funding at the national level targets focusing on topics that are of highest priority and urgency for Member States to advance the European Waste Directive.

The topical priorities of EURAD-2 work scope are determined by the three Colleges of EURAD-2, including Finnish mem-

bers: Waste Management Organization College (Posiva Oy with Teollisuuden Voima Oy (TVO) as Affiliated Entity), Research Entities College (University of Helsinki, with the Geological Survey of Finland, Mita Oy, University of Jyväskylä, and University of Turku as Affiliated Entities) and the Technical Safety Organisation College (VTT Technical Research Centre of Finland). Other parties are always welcome to join and can also be active within the Stakeholder group at any time.

With a budget targeted at 60 million euros across 18 work packages (WPs), the ambition of the programme is high for collaboration and impact. The programme's vision is safe radioactive waste management, covering all phases including predisposal and disposal, through the development of a robust and sustained science, technology, and knowledge management programme. The overview listing of WPs is shown in Figure 2, with black diamonds representing the number of nationally mandated actors involved per each of the three Colleges.

This article provides a short summary on each of the technical work packages where Finnish parties are currently involved. Many of the work packages already have produced public outcomes, including the initial state-of-the-art reports or white papers (for Strategic Studies) identifying the current practices and needs.

Any parties interested in further information are welcome to join the Stakeholder group of EURAD-2 via the web page registration, and/or contribute to the Colleges. The next round of wave 2 new work packages will be selected in early 2026 for work of the next three years from October 2026.

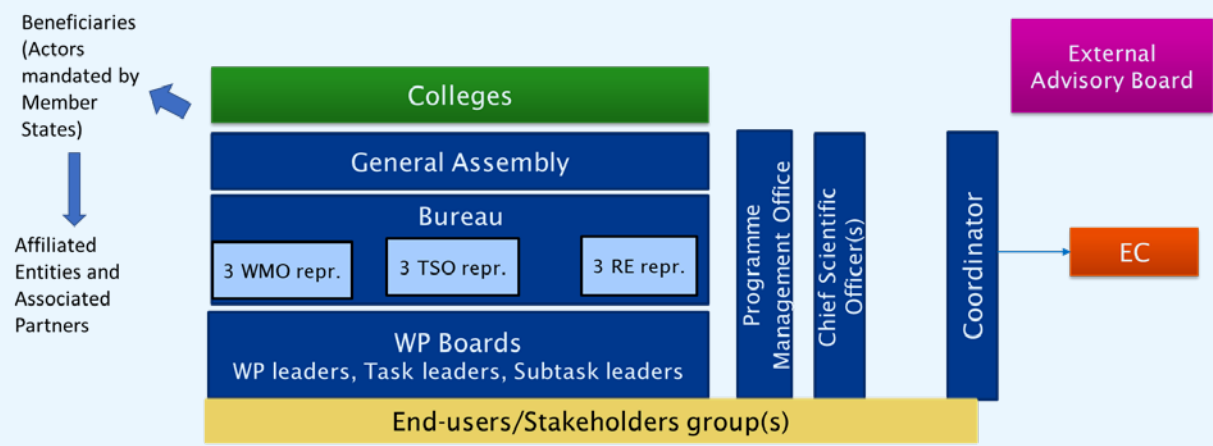


Figure 1. EURAD-2 governance structure.

ASTRA

This 2-year Strategic Study work package “Alternative RWM Strategies” analyses readiness, feasibility and challenges of alternative radioactive waste management (RWM) solutions needed by many countries, in particular small-inventory member states (SIMS), but also larger programmes due to new requests accruing in national programmes to safely manage and dispose of their waste.

Alternative RWM strategies need to be considered for waste types which do not currently have available waste management (WM) routes or where these could be optimised for challenging waste forms or where the originally proposed/considered dispos-

al solution in the frame of national concept is updated. These include storage lifetime prolongation, alternative WM solutions (including deep borehole disposal and internationally shared waste management solutions) and topics challenging to SIMS, such as disposal of waste bearing naturally occurring long-lived radionuclides (Depleted Uranium-DU, U, Th, Ra).

This work package will provide guidelines on innovation for optimization, enable a community of practice forum to share future disposal strategies and discuss challenges on cost effective solutions, and provide an avenue for social engagement especially with civil society about waste management solution selection and implementation. The WP leader is from COVRA in the Netherlands, with participation from Finland by VTT (key contact Pirjo Hellä)

Programme Management	
Predisposal	• Innovative characterisation techniques for large volumes (WP5 – ICARUS) • Sustainable treatment and immobilisation of challenging wastes (WP6 – STREAM) • Long-term performance of waste matrices (WP7 – L’OPERA)
EBS	• Release of safety relevant RN from SNF (WP8 – SAREC) • Innovative and new containers/canisters materials (WP9 – InCoManD) • Hydraulic mechanical chemical evolution of bentonite (WP10 – ANCHORS)
Geoscience	• Radionuclide mobility under perturbed conditions (WP12 – RAMPEC)
Optimisation	• Near surface disposal optimisation (WP14 – SUDOKU) • High-fidelity numerical simulations of coupled processes (WP16 – HERMES)
Safety Case	• Criticality Safety (WP17 – CSFD)

Figure 2a. Ongoing Research and Development (R&D) Work packages (WP) of EURAD-2 wave 1, as allocated to the EURAD-2 Roadmap themes.

Programme Management	• Alternatives RWM strategies (WP3 – ASTRA) • WM for SMRs and future fuels (WP4 – FORSAFF)
Predisposal	
EBS	• HLW repository optimisation including closure (WP13 – OPTI)
Geoscience	• Impact of climate change on nuclear waste management (WP11 – CLIMATE)
Optimisation	• Digital twins (WP15 – DITOCO2030)
Safety Case	• Thermodynamic database (WP18 – DITUSC)

Figure 2b. Ongoing Strategic Study (StSt) Work packages (WP) of EURAD-2 wave 1, as allocated to the EURAD-2 Roadmap themes.

FORSAFF

This 2-year Strategic Study work package “Waste management for SMRs and future fuels” develops understanding and provides recommendations on small modular reactor (SMR) deployment and supplier options, with respect to nuclear waste management. One of the biggest challenges in readiness for deployment of SMRs is the management of spent fuel and radioactive waste generated from their operation and decommissioning.

The work package will provide general information on source terms, waste streams and inventories for SMRs which are most relevant for Member States (MS); provide specifications of backend considerations including waste management, reprocessing and infrastructure needs; and identify future R&D needs to ensure deployment of SMRs safely and economically within 10 years in Europe. The WP leader is from VTT (key contact Timothy Schatz), with additional participation of TVO (key contact Annukka Laitonen).

ICARUS

This 5-year R&D work package “Innovative characterisation techniques for large volumes” further develops, optimises, and harmonises innovative techniques for characterising radiological, physical, and chemical properties of low- and intermediate-level waste (LILW) which could be critical for the safe implementation of radioactive waste management programmes. The work includes destructive techniques (DT) on laboratory scale and its relation to non-destructive techniques (NDT) and scaling factors (SF) at the raw waste and package scale user cases.

One case study work example is for improved sensitivity, accuracy, and uncertainty addressing expensive and time-consuming conventional radiochemical analysis, by using new DTs for determining critical long-lived Difficult To Measure (DTM) radionuclides.



Figure 3. Improved waste characterization methods in ICARUS can save time and money.

The work is focused on impacting the best available characterization techniques for large volume raw waste in industrially relevant decommissioning situations, including laboratory and field applications (Figure 3). The WP leader is from POLIMI in Italy, with participation from Finland by VTT (key contact Anumaija Leskinen).

STREAM

This 5-year R&D work package “Sustainable treatment and immobilisation of challenging waste” evaluates innovative and sustainable design, optimization and upscaling of treatments and conditioning materials. The WP focuses on the pre-disposal initial state for

handling challenging low-level and intermediate-level radioactive waste (solid (reactive metals, spent IERs, incineration ashes) or liquid (aqueous or organic) wastes).

Compared to past projects, this WP now focuses on the influence of the waste composition on the consolidation process of the conditioning matrix, the early age properties of the hardened waste forms, and the minimization and management of secondary waste. The demonstrated outcomes are expected to impact how these novel treatment and/or conditioning routes can potentially be implemented by end users. The work is done in close co-operation with the other WP L'OPERA assessing more long-term performance and safety. The WP leader is from SOGIN in Italy, with participation from Finland by VTT (key contact Tandre Oey).

L'OPERA

This 5-year R&D work package “Long-term performance of waste matrices” works closely with the previous WP STREAM, yet focuses on demonstrating long term behaviour and durability of matrices (including geopolymers and magnesian cements) final waste forms used in low and intermediate radioactive waste conditioning. Key objectives are to improve the understanding of the degradation behaviour (and their elemental drivers) and its consequences on the performance of the waste forms, as well as extrapolation to a few hundred years for surface disposal and to longer periods for geological disposal.

Experiments and modelling are focused on diffusion and leaching of the new matrices combined with the waste forms. The results are needed for potential future licensing of novel waste matrices that are safer and equally economical. The WP leader is from SCK CEN in Belgium, with participation from Finland by VTT (key contact Yushan Gu).

SAREC

This 5-year R&D work package “Release of safety relevant radionuclides from spent nuclear fuel under deep disposal conditions” will improve quantification and mechanistic understanding of the release of safety relevant radionuclides covering most representative types of spent nuclear fuel (SNF) and of the fuel evolution both prior and posterior to contact with ground water to better predict the radionuclide source term for post-closure safety assessment.

The experimental protocols and studies are focused on representative fuel, operated at representative reactor conditions, relevant for WMOs at a European level. Outcomes are a series of technical reports, including data for deriving an updated and improved mechanistic understanding of radionuclide release processes. The WP leader is from SKB in Sweden, with participation from Finland by University of Helsinki (key contact René Bes) and VTT (key contact Janne Heikinheimo).

INCOMAND

This 5-year R&D work package “Innovative and new container/canister materials under disposal fields conditions: manufacturing feasibility and improved durability” aims at identifying and qualifying novel materials used for high-level radioactive waste (HLW) containers/canisters, as well as providing a deeper knowledge of both traditional and novel materials long-term durability in, as realistic as possible, field conditions. The focus is on corrosion resistance, through improved component materials and design including protective coatings and changes in fabrication methods.

Material performance is assessed under realistic, accelerated field conditions that challenge the microstructure and mechanical properties of different materials. The outcome will be a series of technical reports addressing performance of canisters through both experimental and modelling achievements. The WP increases understanding on canister behaviour, improves confidence of life assessment and ensures long-term safety. The WP leader is from Andra in France, with participation from Finland by Posiva (key contact Tiina Sojakka) and VTT (key contact Andressa Trentin).

ANCHORS

This 5-year R&D work package “Hydraulic mechanical chemical evolution of bentonite for barriers optimisation” will increase the optimisation potential of bentonite barrier systems: buffer, backfill and seals, and the Safety Case resilience 1) by qualifying the Hydro Mechanical (HM) behaviour of various kind of bentonite types and mixtures through laboratory experimental programme focused on heterogeneity, chemical effects and friction at different scales and 2) by improving the numerical tools that are necessary to carry out performance assessment of bentonite barriers in a Thermo Hydro Mechanical Chemical (Gas) (THMC(G)) repository environment.

The outcome will be improved models related to the interaction micro/macros of the bentonite structure and the heterogeneity, thus enhancing the understanding of more complex systems at laboratory scales, and improved scientific insight on key controls and improvement of a repository performance assessment. The WP leader is from ASNR in France, with participation from Finland by Posiva (key contact Mika Niskanen), University of Jyväskylä (key contact Arttu Miettinen), Mitta Oy (key contact Xavier Pintado) and VTT (key contact Veli-Matti Pulkkanen).

CLIMATE

This 2-year Strategic Study work package “Impact of climate change on nuclear waste management” identifies knowledge gaps and provides recommendations for future research needs on the impact of climate change on radioactive waste management facilities and sites (predisposal; shallow and near surface low level waste, LLW; deep geological repositories, DGR, for low and intermediate level waste LILW, and high-level waste HLW) during construction, operation, and post-closure phases.

A key outcome will be a white paper addressing the challenges and needs for future R&D on how to improve waste management safety accounting for climate change impacts, including the views of various stakeholders. The WP leader is from AMPHOS21 in Spain, with participation from Finland by GTK (key contact Mira Markovaara-Koivisto), Mitta Oy (key contact Nuria Marcos), University of Turku (key contact Antti Ojala) and VTT (key contact Jin Beak Park).

RAMPEC

This 5-year R&D work package “Radionuclide mobility under perturbed conditions” will provide improved methods and approaches both regarding mechanistic modelling of radionuclide retention and migration on the disposal cell scale (meter to decametre scale).

The work involves new experimental studies on radionuclide retention and transport (sorption, diffusion) under perturbed conditions, as well as developing mechanistic models for retention and transport of radionuclides in complex physico-chemical systems, based on an accurate and realistic description of natural systems and chemical speciation. The technical outcomes can

be used in performance assessment of repository systems. The WP leader is from KIT in Germany, with participation from Finland by University of Helsinki (key contact Otto Fabritius) and GTK (key contact Jukka Kuva).

OPTI

This 2-year Strategic Study work package “HLW repository optimisation including closure” aims at providing recommendations about methodologies and further activities for design and optimization of specific high level radioactive waste (HLW) deep geological repository systems, structures and components (SSCs) and procedures.

The outcomes will be a green paper and a white paper addressing the challenges and needs for future R&D in optimisation of high-level waste SSCs (see Figure 4 example), considering views from all actors (including the Civil Society). The WP leader is from BGE in Germany, with participation from Finland by Posiva (key contact Johanna Hansen) and VTT (key contact Ville Rinta-Hiiri).

SUDOKU

This 5-year R&D work package “Near-surface disposal optimisation based on knowledge and understanding” aims at better understanding of the behaviour and performances of (i) covers and (ii) cementitious barriers of near-surface disposal facilities for short lived waste (ground level facilities) and ILW (shallow deep facilities) in view of these barriers optimization to ensure the long-term safety of disposal facilities.

The SUDOKU approach is to combine the investigations on multi-layer covers with the durability of cementitious barriers to assess the transfer properties of mobile radionuclides in damaged cementitious barriers according to their chemo-mechanical evolution. Technical outcomes will include recommendations for future optimizations of repository designs to improve the repository safety (see Figure 5 example). The WP leader is from RATEN in Romania, with participation from Finland by University of Helsinki (key contact Gareth Law).

DITOCO2030

This 2-year Strategic Study work package “Next generation Digital Twins to support Optimisation, Construction and Operation of surface and subsurface radioactive waste management facilities” targets closing the R&D gap between the currently fragmented digital twins (DT) of individual disciplines, common data environments, and decision-making platforms to better understand the opportunities and limitations of DT in their deployment in whole life cycle of waste management.

The outcome will be various guidance documents, user cases and a position paper outlining the specific needs of individual disciplines within the DT framework. The WP leader is from IFE in Norway, with participation from Finland by Mitta Oy (key contact Xavier Pintado) and VTT (key contact Arto Laikari).

HERMES

This 4-year R&D work package “High fidelity numerical simulations of strongly coupled processes for repository systems and design optimisation with physical models and machine learning” develops high-fidelity numerical models for simulations of strongly coupled thermal-hydro-mechanical-chemical (THMC) processes in repository nearfield, repository design optimisation and interpretation of mock up experiments using a combination of physics based models



Figure 4. Example of waste disposal tunnel studied in OPTI work package for optimisation and closure.



Figure 5. Example of surface repository evaluated in SUDOKU work package.

Figure 6. EURAD-2 consortium members at the kick-off meeting, October 2024 in Ghent, Belgium.

and accelerated computing assisted with machine learning and artificial intelligence.

The outcomes will be a series of technical reports including high fidelity/high computation throughput coupled models for multiscale simulations of THMC processes in repository nearfield and host rocks offered via an open access EURAD model-hub. These will be beneficial for repository optimization and performance assessment. It is expected that the models can be integrated to digital twins. The WP leader is from PSI in Switzerland, with participation from Finland by Mitta Oy (key contact Xavier Pintado).

CSFD

This 5-year R&D work package “Criticality Safety for Final Disposal” explores the optimisation potential of the technical and administrative measures available for ensuring criticality safety in final disposal, attain an improved understanding of their methodological validation and experimental verification, and further consolidate the technical basis of the criticality safety argumentation for final disposal of fissile wastes. The outcome will be a series of technical reports, addressing issues such as long-term repository evolution processes relevant to post-closure criticality safety and of the existing scientific data available to underpin criticality scenarios assessments.

New or improved methods and techniques will be made for assessing the suitability of models, uncertainty treatment, and the impact of inherent modelling simplifications. The WP leader is from NAGRA in Switzerland, with participation from Finland by Posiva (key contact Barbara Pastina) and VTT (key contact Pauli Juutilainen).



Acknowledgements

The authors acknowledge the Work Package leaders who have provided descriptions of the work within the EURAD-2 web page, as a basis for this summary article. This project has received funding from the European Union under Grant Agreement n°101166718.

REFERENCES

- [1] EURAD(-1) programme: <https://www.ejp-eurad.eu>
- [2] PREDIS project: <https://predis-h2020.eu>

AUTHORS



PhD Erika Holt

Lead – Nuclear Back End
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd
erika.holt@vtt.fi



Louise Théodon

European and national research and innovation project engineer
ANDRA
louise.theodon@andra.fr

Diplomityö

VAIHTOLATAUSALTAASSA TAPAHTUVAN SYDÄNSULA-BETONI-VUOROVAIKUTUKSEN MALLINTAMINEN MELCOR-LASKENTAKOODILLA

Aapo Harju, Fortum Power and Heat Oy

Sydänsula-betoni-vuorovaikutus (Molten corium–concrete interaction, MCCI) on monimutkainen ilmiö, jossa käytetyn ydinpolttoaineen jälkilämpö sulattaa ja hajottaa betonia. Betonirakenteiden sulaminen voi uhata kaasutiiviin suojarakennuksen eheyttä ja mahdollistaa radioaktiivisen päästön ympäristöön. Tässä diplomityössä tutkittiin sydänsula-betoni-vuorovaikutusta ja mallinnettiin Loviisan ydinvoimalaitoksen vaihtolatausaltaita MELCOR-laskentakoodilla. Työn tavoitteena oli arvioida aikaskaaloja, joiden kuluessa suojarakennuksen kaasutiiviyys menetetään.

Molten corium–concrete interaction (MCCI) is a complex phenomenon where the residual heat of molten nuclear fuel melts and decomposes concrete. It poses a risk to the integrity of the gas-tight containment, potentially enabling the release of radioactive material into the environment. This thesis studied the MCCI phenomenon and modelled its progression in the refuelling pool of the Loviisa Nuclear Power Plant using the MELCOR computational code. The primary objective was to estimate the time scales available before the integrity of the gas-tight containment is lost.

Käytetty ydinpolttoaine tuottaa jälkilämpöä ja gammasäteilyä, min-kä vuoksi reaktorista poistettua polttoainetta säilytetään syvässä vesialtaissa. Jos altaan jäähdytekierto menetetään esimerkiksi pitkittyneen sähkönmenetyksen seurauksena tai altaan tiiveys menetetään vuodon takia, vedenpinta altaassa laskee ja polttoaineniput voivat paljastua. Jälkilämpötehon ollessa riittävän suuri tämä johtaa polttoaineniippujen ylikuumentumiseen, suojakuoren hapettumiseen, polttoainesauvojen rakenteen menetykseen ja polttoaineen pää-tymiseen altaan pohjalle. Ellei jälkilämpöä saada poistettua, lämpötila nousee betonin sulamislämpötilaa korkeammaksi ja sydänsula-betoni-vuorovaikutus alkaa.

Sydänsula-betoni-vuorovaikutus, tuttavallisemmin MCCI

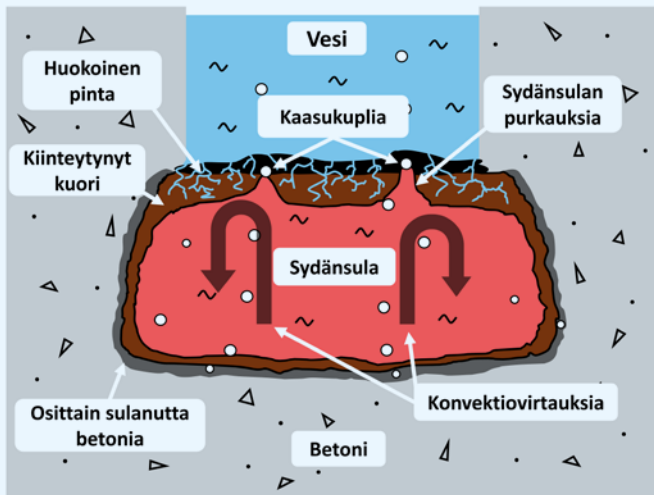
Betoni on heterogeeninen seos, joka koostuu sementistä, vedestä ja runkoaineesta kuten kivimurskeesta ja hiekasta. Näiden aineiden sekoitussuhde vaihtelee, mutta tyypillisesti betonin massasta noin 10–20 % on sementtiä, 5–10 % vettä ja 60–80 % runkoainetta [1]. Vesi ja sementti muodostavat sementtimatriisin eli ikään kuin liiman, joka sitoo runkoaineen paikoilleen.

Lämpötilan noustessa sementtimatriisi hajoaa noin 700 °C lämpötilassa, minkä seurauksena betoni menettää rakenteellisen kes-

tävyytensä. Runkoaineen sulamispiste puolestaan vaihtelee käytetyn materiaalin mukaan: esimerkiksi Loviisan laitoksella käytetyn betonin runkoaineessa on paljon kvartsia (SiO₂), jonka sulamispiste on noin 1 720 °C [2]. Tyypillisesti betonin sulamisen ajatellaan alkavan noin 1 100–1 250 °C lämpötilassa, mutta betonikohtaiset erot ovat merkittäviä [3].

Kun sydänsula kohtaa betonin, syntyy intensiivinen lämpövuorovaikutus. Vuorovaikutuksessa on läsnä monia fysikaalisia ilmiöitä kuten lämmönsiirto heterogeenisessä seoksessa ja faasirajapinnoilla, faasitransitiot, eutektisten seosten muodostuminen (eli seosten, joiden sulamispiste on matalampi kuin yksittäisten komponenttien sulamispisteet), materiaalivirtaukset sekä kemialliset reaktiot. Havainnollistava piirros sydänsula-betoni-vuorovaikutuksesta on esitetty kuvassa 1.

Betonin hajoamiseen, sulamiseen ja höyrystymiseen käytetään yleisesti yhteistä termiä ablaatio. Kokeissa silikaattirikkailla betoneilla on havaittu voimakasta sivuttaista ablaatiota, jonka suhde alaspäin suuntautuvaan ablaatioon on noin 3:1. Toisin sanoen sydänsula etenee sivuttaissuuntaan jopa kolmikertaisella nopeudella verrattuna alaspäin suuntautuvaan etenemiseen. Tämä ilmiö havaittiin OECD:n CCI-testisarjassa [4] ja CEA:n VULCANO-testisarjassa [5], ja lisäksi ilmiö havaittiin myös Tšernobyliissa [6].



Kuva 1. Havainnekuva sydänsula-betoni-vuorovaikutuksen poikkileikkauksesta, kun sydänsula on ensin päässyt leviämään betonissa ja vesitulvitus on aloitettu jälkikäteen. Kiinteä kuori rajoittaa lämmönsiirtoa, mutta huokoinen pinta sallii veden tunkeutumisen pinnan läpi, mikä tehostaa paikallista jäähdystystä.

Betonin runkoaineen koostumus on tärkeä tietää, koska jos runkoaineena käytetään esimerkiksi kalkkikiveä, ablaatio on symmetrisempää ja lauhtumattomia kaasuja vapautuu enemmän. Loviisan vaihtolatausaltan pohjabetonin runkoaineena on käytetty silikaattirikasta rapakivimursketta ja latausaltan raskasbetonisten sivuseinien runkoaineena on käytetty magneettiipitoista rautamalmimursketta.

Loviisan vaihtolatausaltan mallinnus MELCOR-laskentakoodilla

MELCOR on Sandia National Laboratoriesin kehittämä vakavien onnettomuuksien mallintamiseen käytetty laskentakoodi [7]. Se hyödyntää "lumped parameter"-lähestymistapaa, jossa systeemi jaetaan suhteellisen suuriin kontrollitilavuuksiin eli noodeihin, jotka kytketään toisiinsa virtausreittien ja lämpörakenteiden avulla. Karkeasta noodituksesta johtuen MELCOR ei sovellu yksityiskohtaisten virtausmekaanisten ongelmien ratkaisuun. MELCOR on kuitenkin laajasti validoitu ja sitä pidetään state-of-the-art-koodina vakavien onnettomuuksien simulointiin [6].

MELCORin geometriarajoitteiden vuoksi Loviisan suorakulmaista vaihtolatausaltasta ei voitu mallintaa sellaisenaan, vaan se mallinnettiin aksisymmetrisenä sylinterinä, jonka pohjan säteeksi asetettiin 3,0 m, seinämän paksuudeksi 1,2 m ja pohjan paksuudeksi 1,25 m. Näillä valinnoilla sylinterin pohjan pinta-ala vastaa Loviisan vaihtolatausaltan lattiapinta-alaa, seinämän paksuus vastaa vaihtolatausaltan ja höyrytintilan välisen seinän paksuutta ja pohjan paksuus vastaa betonin paksuutta ennen kaasutiiviin suojarakennuksen teräsverhousta. Lisäksi altaan päälle mallinnettiin 7 cm paksu teräskansi, joka suojaa allasta mutta rajoittaa samalla lämmönsiirtoa altaasta suojarakennukseen.

Kaasutiiviin suojarakennuksen teräsverhouksen alla on vielä noin 1,5 m paksu betonilaatta sekä useita huonetiloja, mutta teräsverhouksen sulaminen merkitsee kaasutiivyyden menetystä, jolloin radioaktiivinen päästö ympäristöön on mahdollista. Vaihtolatausaltan ja höyrytintilan välisen seinän puhkeaminen ei puolestaan ole päästöjen kannalta yhtä vakava tilanne, sillä onnettomuustilanteessa jäälauhduttamista sulanut vesi valuu höyrytintilan lattialle, mikä auttaa jäähdyttämään sydänsulaa.

Mallinnetut tilanteet

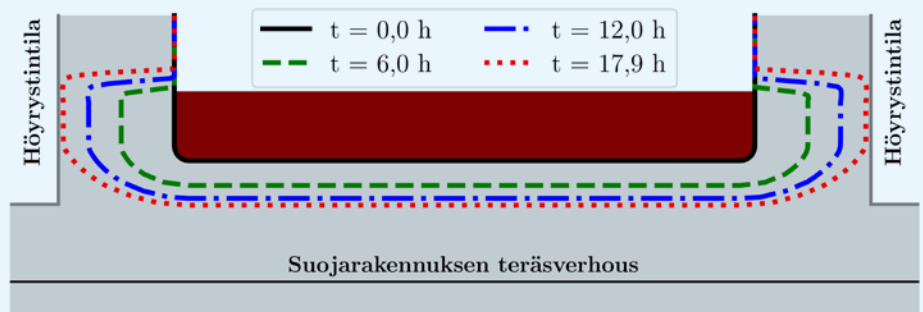
Työssä tarkasteltiin neljää perustilannetta, jotka erosivat toisistaan altaassa olevan polttoaineen massan ja jälkilämpötehon suhteen. Sydänsulan kokonaismassa vaihteli 55 tn ja 146 tn välillä ja jälkilämpöteho 140 kW ja 4 200 kW välillä. Kussakin perustilanteessa mallinnettiin myös eri aikoihin aloitetun vesitulvituksen vaikutusta sydänsula-betoni-vuorovaikutuksen hidastamiseen ja pysäyttämiseen. Lisäksi parametrivariaatioilla tutkittiin betonin ablaatiolämpötilan, sydänsulan alkulämpötilan, zirkoniumin hapettumisasteen, ruostumattoman teräksen massan sekä MELCORin eri laskentamallien vaikutusta ablaatioon.

Sydänsula mallinnettiin homogeenisenä massana, jonka koostumus vastasi TVEL:n VVER-440 polttoainetta, johon on lisätty altaan rakenteista sulanutta terästä. Työssä ei siis mallinnettu käytetyn polttoaineen sulamisprosessia, vaan konservatiivisena oletuksena oli, että polttoaine on jo päässyt muodostamaan sula-altaan. Todellisuudessa käytetyn polttoaineen jälkilämpöteho ei välttämättä riitä polttoaine-elementtien sulattamiseen erityisesti matalan jälkilämpötehon nippujen osalta.

Tulokset ja merkitys Loviisan ydinvoimalaitoksen turvallisuudelle

Simuloidut tulokset osoittivat, että sydänsulan jälkilämpöteho ja massa vaikuttavat merkittävästi ablaation etenemisnopeuteen, muotoon ja sula-altaan jäähdyttävyyteen. Suurimman jälkilämpötehon tapauksessa (4,2 MW) ablaatio eteni sivuttaissuuntaan nopeammin kuin alaspäin, jolloin höyrytintilan seinä puhkesi noin 18 tunnin kuluttua ablaation alkamisesta.

Suurilla jälkilämpötehoilla mallinnetut tilanteet vastasivat CCI- ja VULCANO-testisarjoissa havaittua käyttäytymistä verrattain hyvin. Lisäksi yksinkertainen analyttinen ablaatiomalli ennusti seinän puhkeavan noin 16 tunnin kuluessa, joten MELCOR-simulaatio vastasi tätäkin hyvin. Kuvassa 2 on esitetty sula-altaan muoto 4,2 MW tapauksessa eri ajanhetkinä.



Kuva 2. Simulaatio sydänsulan etenemisestä vaihtolatausaltan betonirakenteissa, kun polttoaineen jälkilämpöteho on 4,2 MW ja vettä ei syötetä sydänsulan päälle. Kuvasta nähdään, että höyrytintilan seinä puhkeaa selvästi ennen kuin sydänsula saavuttaa pohjassa sijaitsevan teräsverhouksen.

Mitä pienempi jälkilämpöteho altaassa mallinnettiin, sitä enemmän ablaatio suuntautui alaspäin. 900 kW tapauksessa sydänsula puhkaisi höyrystintilan seinän noin 5 vrk kuluessa mutta 600 kW tapauksessa ablaatio eteni enemmän alaspäin puhkaisten suojarakennuksen teräsverhouksen noin 8 vrk kuluessa. 140 kW tapauksessa ablaatio eteni lähes yksinomaan alaspäin puhkaisten teräsverhouksen noin 36 vrk kuluessa.

Käytetyn polttoaineen matalaa tehottiheyttä vastaavia kokeellisia testejä ei ole tehty, joten on epäselvää, onko alaspäin suuntautuva ablaatio todellinen ilmiö vai MELCORin tuottama epäjohtomukaisuus, kun koodia käytetään varsinaisen pätevyysalueensa ulkopuolella. Varioiduista parametreista betonin ablaatiolämpö-

tilalla, sydänsulan alkulämpötilalla ja sydänsulaan sekoittuneen ruostumattoman teräksen massalla oli merkittävimmät vaikutukset. Zirkoniumin hapettumisprosentin ja koodin eri laskentamallien vaikutukset olivat pienempiä.

Sydänsulan tulvittaminen vedellä päältäpäin osoittautui simulaatioissa tehokkaaksi keinoksi pysäyttää ablaatio, kun jälkilämpöteho oli matala ja vesitulvitus aloitettiin tarpeeksi aikaisin. Jos ablaatio ehti edetä pitkälle ja sula-altaan syvyys pääsi kasvamaan liiaksi, vesitulvitus ei enää pystynyt estämään ablaation jatkumista.

Diplomityö on hyväksytty Aalto-yliopiston Perustieteiden korkeakoulussa 18.3.2025.

VIITTEET

- [1] S. H. Kosmatka and M. L. Wilson, Design and Control of Concrete Mixtures: the Guide to Applications, Methods, and Materials (Engineering bulletin), 15. Skokie, Ill: Portland Cement Association, 2011.
- [2] W. M. Haynes, D. R. Lide, and T. J. Bruno, Eds., CRC Handbook of Chemistry and Physics, 95th. Boca Raton, FL: CRC Press, 2014.
- [3] C. Journeau and P. Piluso, "2.25 - Core Concrete Interaction", in Comprehensive Nuclear Materials, R. J. Konings, Ed., Oxford: Elsevier, 2012, pp. 635–654.
- [4] M. Farmer, S. Lomperski, D. Kilsdonk, R. Aeschlimann, and S. Basu, "OECD MCCI project Final report", Argonne National Laboratory, Argonne, IL (United States), 2006.
- [5] J. Christophe et al., "Contributions of the VULCANO experimental programme to the understanding of MCCI phenomena", Nuclear Engineering and Technology, vol. 44, no. 3, pp. 261–272, 2012.
- [6] Nuclear Energy Agency, State-of-the-Art Report on Molten Corium Concrete Interaction and Ex-Vessel Molten Core Coolability. Paris: OECD Publishing, 2017.
- [7] L. L. Humphries et al., "MELCOR Computer Code Manuals", Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM 87185-0748, Reference Manual Version 2.2 r2023.0, 2023.

KIRJOITTAJA



DI Aapo Harju

Design Engineer, Nuclear Safety
Fortum Power and Heat Oy
aapo.harju@fortum.com

LOVIISAN YDINVOIMALAN 1980-LUVUN ALUN LAATU- KORJAUKSET LOIVAT PERUSTAA LAITOKSEN PARANTAVALLE KUNNOSSAPIDOLLE

Laitoksen ydinryhmän tulikasteesta kulunut 45 vuotta.

Tämä tarina kertoo Loviisan ydinvoimalassa vuonna 1980 ilmenneestä kahdesta suuresta laatupoikkeamasta: ydinvoimalan reaktoripaineastia haurastui nopeammin kuin oli ennakoitu ja höyrygeneraattorien kollektoreissa havaittiin vakavia valmistusvirheitä.

Paineastiassa on edelleen lähellä reaktorisydäntä hitsausauma, johon jääneestä kuparista ja fosforista haurastumisilmiö kärjistyi. Suomalaisen ydinvoiman turvallisuusajattelun mukaan kyseessä oli laatupoikkeama, joka piti korjata. Yhtenä korjaavana toimenpiteenä reaktorisydämen ja paineastiaseinän välille sijoitettiin suojaelementit, joissa ei ole uraanipolttoainetta.

Laatupoikkeamia olivat suomalaisen laatuajattelun mukaan myös höyrystymien kollektoreissa ilmenneet säröt. Olihan toki kaikenlaista muutakin, kuten paineastioiden sisäpinnan säröt, mutta se taas on toinen tarina... Paineastia- ja höyrystingongelmat



Risto Valkeapää
Tietokirjailija
risto.valkeapaa@gmail.com

ratkaistiin yhteistyössä neuvostoliittolaisen ydinvoimatoimittajan Atomenergoexportin (AEE:n) kanssa. AEE tunsu vastuunsa, ja sille löytyy tässä jutussa vielä historiallinen seittäjä, herra nimeltä Petrosjants.

Kirjoitan tässä jutussa varsin draaattisesti "tulikasteesta". Sellaisena tätä Loviisan voimalaitoksen historiallista vaihetta pidän. Siinä koeteltiin suomalaista osaamista toden teolla. Imatran Voimalle oli jäänyt viimeinen vastuu valmistusvirheiden korjaamisesta.

Yksi tähän savottaan osallistuneista oli DI Antti Autio. Kertasimme Aution kanssa Loviisan ydinvoimalan vuoden 1980 tilannetta kesällä 2025 hänen kodissaan Inkoon Metsäpolulla.

Olin käynyt edellisen kerran Inkoossa hiilivoimalaitoksella sydäntälvellä 1987. Voimalaitoksen kahdesta piipusta tuprusi savu. Aution kertoman mukaan Inkoon voimalaitos oli silloin pitänyt pistää tulille lyhyellä hälytysajalla. Hektistä toimintaa ei ollut IVOssa pelkästään Loviisassa.

Hän siirtyi vuonna 1984 Loviisasta Inkoon voimalaitoksen johtajaksi. Inkoon 1 000 megawatin hiilivoimala on purettu, mutta ydinvoimalan purkamisessa ei päde sama logiikkaa. Ydinvoimala on ajateltava uudistettavaksi.

LOVIISASSA LUOTIIN PERUSTAA PARANTAVALLE KUNNOSSAPIDOLLE

Kesällä 2025 oli kulunut 45 vuotta tapahtumista, joita voidaan siis mielestäni pitää Loviisan ydinvoimalan käytön ja kunnossa-

pidon osajien tulikasteena. Suomalainen itsenäinen insinööriyhteisö osoitti silloin kyvykkyytensä sekä paineastia- että kollektoriongelman ratkaisemisessa.

Kunnossapidon strategioissa puhutaan nykyisin myös yleisesti parantavasta kunnossapidosta. Se mitä Loviisassa tehtiin vuonna 1980 loi myös perustaa Loviisan ydinvoimalan jatkuvalla parantavalla kunnossapidossa. Parantava kunnossapito on säilynyt toimivana strategiana vuoteen 2025 asti.

Parantavasta kunnossapidosta tuli Loviisassa tapa toimia ainakin siitä syystä, että neuvostoliittolainen laatu, työ ja tuotteet eivät vastanneet suomalaisten omaksumia länsimaisia laatuormeja. Monia asioita jouduttiin tekemään uudelleen. Aution mukaan laatupoikkeamia suomalaisiin normeihin verrattuna ilmeni myös ranskalaisissa toimituksissa.

Aution mielestä parantava kunnossapito tekee mahdolliseksi jatkaa ydinvoimaloiden käyttöikää pitkälle siitä, mitä nykyisin ennakoidaan. "Ydinvoimalapaikat ovat pysyviä laitospaikkoja. Laitoksia ei kannata purkaa kuten konventionaalisia voimalaitoksia", Autio toteaa.

AUTIO OLI ENSIMMÄISIÄ LOVIISAN YDINRYHMÄSSÄ

Diplomi-insinööri Antti Autio tuli ensimmäisten joukossa Loviisan ydinvoimalan käyttäjäjoukon strategiseen ydinryhmään. Anders Palmgren aloitti Loviisan ydinvoimalan käyttöhenkilökunnan rekrytoinnin jo vuoden 1973 alussa. Mukaan tulivat silloin Jussi Helske, Antero Tamminen ja Autio.

Lähtökohtana oli kiinnittää osajat tehtäviinsä riittävän varhain. Koulutuskoordinaattoriksi nimitettiin filosofian maisteri Björn Wahlström. Käyttöjoukon ydin oli kasassa. Ajan mittaan tuli puolensataa miestä lisää. Käyttöhenkilökunnan koulutus käynnistyi vuoden 1974 alussa. Ruotsista oli hankittu jo valmiita koulutuspaketteja. Koulutuspaketit piti sovittaa neuvostoliittolaiseen laitokseen soveltuvaksi.

Ydinvoimalatyöhön hyväksytyt olivat nuoria osajia: tohtoreita, lisensiaatteja, diplomi-insinöörejä, insinöörejä ja tekniikoita. He olivat kansainvälistyneitä ja koulutuneita länsimaiseen laatuajatteluun. Heillä oli myös asiantuntemusta neuvostoliittolaisesta tekniikasta ja laatuajattelusta, joka oli erilaista kuin lännessä.

Tuoreessa historiallisessa muistissa oli, mitä Neuvostoliiton johtaviin ydinvoimapomoihin kuulunut professori Anastas Petrosjants sanoi syyskuussa 1969. Suomalaisten ja neuvostoliittolaisten kes-



Loviisan ydinvoimala 4. syyskuuta 2025 aamuauringossa.

ken oli jänkäty laatukysymyksistä ja ydinturvallisuudesta ja näkemykset erosivat. Petrosjants jätti neuvottelupöydän ja sanoi: "Tehkää sitten, miten haluatte, mutta Neuvostoliitto ei vastaa muusta kuin primääripiirin toiminnasta."

Imatran Voima sai silloin vapauden länsimaisiin turvallisuustakeisiin, mutta toisaalta se joutui toteuttamaan ydinvoimalaitoksen pitkälti oman yhtiön voimin.

ENSIMMÄISET YDINVOIMAJUTTUNI TEIN 50 VUOTTA SITTEN LOVIISASTA

Tein ensimmäiset juttuni Loviisan ydinvoimalatyömaalta keväällä 1975 Uusimaa-

lehteen. Aloitin 24-vuotiaana journalistina aiheen seurantatyön.

Kalevi Nummisen johtama "oravakomppania" sai ensimmäisen ydinvoimalayksikön rakennustyöt valmiiksi vuoden 1975 syksynä. Laitetoimitukset Neuvostoliitosta olivat kuitenkin ainakin vuoden myöhässä. Toisaalta kun vuosikymmeniä myöhemmin seurasin toisaalla Olkiluoto 3:n rakentamista, jouduin näkemään aivan toisen mittaista aikataulujen venymistä. Loviisan projektin viivästykset olivat Olkiluodon aikataulujen venymiseen verrattuna mitättömän pieniä.

Imatran Voima oli Loviisassa hoitanut osuutensa aikataulussa, mutta neuvostoliittolainen osapuoli luisti pahasti omaansa. Atomenergoexportin johto sai kuul-

la suomalaisilta kunniansa. Imatran Voima lähetti kovasanaisen viestin Neuvostoliiton poliittiselle johdolle. Suomalaiset insinöörit eivät selvästikään olleet kädettömiä, vaan pistivät venäläisiä järjestykseen.

Toukokuussa 1976 tehtiin laitoksella primääripiirin painekoe. Koekäyttö käynnistyi. Ykkösreaktorin lataus ydinpolttolaitteella aloitettiin marraskuussa 1976 ja lataus valmistui. Tiedotusvälineet seurasivat tarkasti laitoksen käynnistymistä. Valtakunnan verkkoon ykkösturbiini kytkettiin helmikuun 8. päivänä 1977. Loviisa 1 vihittiin virallisesti käyttöön 23. maaliskuuta 1977.

Loviisan ydinvoimalan ykkösvaiheen valmistuminen oli kovan luokan kansainvällispoliittinen juttu. Presidentti Urho Kekkonen ja ministerineuvoston puheenjohtaja Aleksei N. Kosygin esiintyivät vihkiäisissä. Imatran Voiman projektijohtaja Kalevi Numminen ja voimalaitoksen päällikkö Anders Palmgren esittelivät laitosta.

LEHDISTÖÄ LOVIISAN LAITOKSELLA

Anders Palmgren suhtautui lehdistöön avoimesti. Kiersimme yhdessä laitosta. Juoksin kovakuntoisen Andersin perässä ympäri laitosta. Turbiinipuolella hän selitti, että tuntee laitoksen niin hyvin, että voi peruspultista kuulla masiinan käynnin värähtelyn.

Siellä oli sopivasti T-rauta ja minulla kamera kädessä. Sanoin Andersille, että kuunteletko, otan kuvan. Anders otti rauhan ja kuunteli, mistä sain hyvä kuvan. Kirjoitin pakinan, jossa oli Anders kuuntelemassa peruspulttia. Laitoin kuvatekstiin "Kuuluuko kolinoita, tohtori Palmgren".

Juttu koetteli Andersin huumorintajua. Hän taisi suuttua ensin, mutta totesi myöhemmin: "sehän oli huumoria".

Marraskuussa 1977 laitokselle piti tulla käymään korkean tason neuvostodelegaatio Anastas Petrosjantsin johdolla. Sain vierailusta Imatran Voiman tiedotteen ja henkilöydin laitokselle.

Laitoksen vartiointi- ja tiedotuspäällikkö Jaakko Mure otti minut ja Loviisan Sanomien päätoimittajan Tauno Einiön vastaan ja vei meidät kabinettiin, jonne delegaation oli määrä tulla. Istuimme kabinettin takaosan tuoleihin.

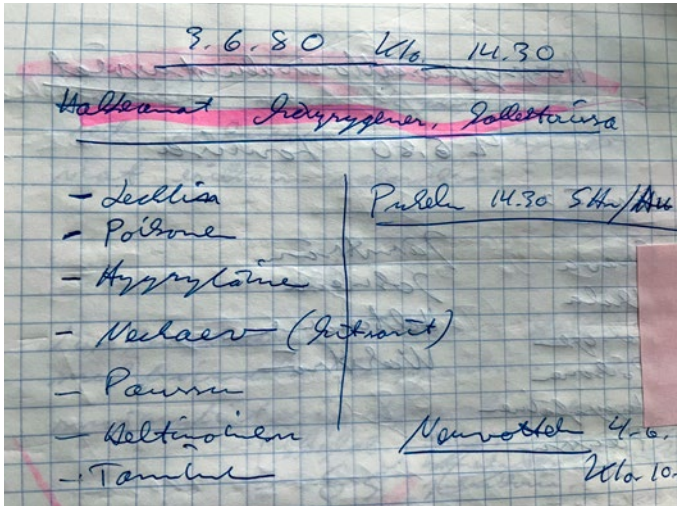
Tummapukuiset neuvostovieraat tulivat ja istuivat tilan etuosaan. Petrosjants ei sittenkään ollut ryhmässä mukana. Delegaatio oli kuitenkin Imatran Voiman mukaan muuten korkeatasoinen.

Anders ilmestyi kabinettin etuosaan ja aloitti esityksensä. Minulla oli käsissä-



Antti Autio haastateltavana.





Ote Antti Aution kierrelehtiöstä 3.6.1980.



Ydinvoimalan aamuvuoro saapumassa työmaalle turvamiesten kontrollissa syksyllä 2025.

ni ruutupaperilehtiö ja punavärinen kuivamustekynä. Anders aloitti kriittisen esityksen laitoksen tilanteesta. Hänen esitti kahdeksan kohdan listan vakavista ongelmista, joista ensimmäinen oli tehorajoitus. Polttoaineesta ei ensinnäkään saatu neuvostoliittolaiselta osapuolelta riittävästi tietoa, joten Suomen viranomaiset olivat määränneet laitokselle kahdeksan prosentin tehorajoituksen. Se kävi kalliiksi Imatran Voimalle. Venttileitäkin oli aivan liikaa.

Sitten Anders pani merkille, että kabinetissa oli pari toimittajaa. Anders tuli luoksemme. Hän sanoi erottavansa Muren ja ilmoitti, ettei tapahtuneesta kirjoiteta mitään. Einiö oli yhteistyökykyinen, mutta minä sanoin, etten sovi mitään.

Siitä tapahtumasta alkoi kaikei ydinvoimajournalistin urani. Lähdin kirjoittamaan uutista. Skuuppihan uutinen kahdeksan kohdan kritiikkilistasta eittämättä oli. Anders oli kehunut laitosta tähän asti kritiikkitt. Nyt tiesin, mitkä asiat Loviisan ydinvoimalasta kirjoitettaessa olivat olennaisia. Juttu julkaistiin Uusimaa-lehdessä.

Kuulin jälkepäin, että delegaatio oli tullut keskustelemaan Loviisa 2:n takuuehdoista, mitä varten Anders oli valmistellut tiukan esityksen. Minulle on edelleen arvoitus, olinko neuvotteluhuoneessa vahingossa vai tarkoituksella. Anders sanoi myöhemmin, että hän sanoi neuvostoliittolaisille, että mitkään viat eivät pysy Suomessa salassa, meillä on vapaa lehdistö.

Jaakko Mure jatkoi myös työtään laitoksella. Kuulin, että Anders oli "erottanut" hänet myös myöhemmin muutamaan otteeseen. Andersista vitsailtiin, että hänessä piili samansukuista "reaktiivisuutta" kuin ydinvoimalan reaktorisydämessä.

ANDERS SAI VASTUULLEEN PAINEASTIAN JA JUSSI HELSKE HÖYRYSTINONGELMAT

Vuoden 1980 alussa Jussi Helske ja Esa Lecklin kertoivat minulle laitoksen ruokalassa nurkkapöydässä paineastian jopa järkyttävästä haurastumisesta. Appeni oli juuri silloin menehtymässä vatsasyöpään, joten en pystynyt tarttumaan aiheeseen sillä hetkellä. Tein sivun laajuisen jutun toukokuun lopussa.

Lähes samaan aikaan paineastian ongelmien kanssa paljastuivat höyrystymien kollektorien varjostumat. Anders Palmgren sai alkuvaiheessa vastuulle paineastian haurastumisongelman ratkaisemisen ja Jussi Helske kollektorien korjaamisen. Myöhemmin Helskeen vastuuosuus laajeni paineastian lämpökäsittelyyn.

Ongelmien ratkaisemisen ensimmäisessä vaiheessa etsittiin ja tutkittiin kuvaamalla kollektorien viat ja tehtiin suunnitelmat niiden korjaamisesta. Sekä paineastiaongelmaa että kollektorivikojä käsiteltiin mielestäni molempia tasaveroisesti avoimesti julkisuudessa. Ainakin minä pyrin kirjoittamaan niistä molemmista tärkeinä uutisaiheina.

Kollektorivikojen korjausprojekti kosketti Imatran Voimassa yhtiön henkilöstöä ylimmästä johdosta suoritusportaaseen. Projektin aikana merkittävään rooliin nousi myös teknikko Kari Kotirinta, joka löysi erityisesti mainittavia luovia ratkaisuja kollektorivikojen kuvaukseen.

Tulikasteen toinen osa eli paineastian haurastuminen oli pienemmän asiantuntijaryhmän vastuulla. Sen työ ei kuitenkaan ponnistanut tyhjältä, sillä VTT oli tutki-

nut jo vuosikaudet paineastian materiaalia. Sydämen lähellä olevaan hitsaussaumaan liittyvät riskit oli tiedostettu jo usean vuoden ajan ennen kuin ne realisoituivat.

ANTTI AUTION KIERRELEHTIÖISSÄ HISTORIAALLISTA TIETOA

Kävimme Inkoossa elokuussa 2025 Antti Aution kanssa läpi hänen muistiinpanojaan 1980-luvun alun tapahtumista hänen kierrelehtiöittensä sisällön kautta. Lehtiöissä on mielenkiintoista historiallista dokumentointia. Kaikkea käsikirjoitetusta tekstistä en tarkkaan hahmottanut enkä sitä voinut sanata tarkasti kirjata, mutta alla tärkeimpiä pointintoja.

Antti Autio kirjasi kierrelehtiöönensä muistiin merkittävät tapahtumat. 3.6.1980 klo 14.30 löytyy merkintä höyrygeneraattorien halkeamista. "Höyrygeneraattorien valmistusviat" otsikon hän kirjasi seuraavana päivänä palaverin aiheeksi. Palaverissa olivat mukana lähes kaikki Loviisan ydinvoimalan parhaimmat asiantuntijat.

Vuonna 1979 oli tutkittu kolme kollektoria ja vikoja ei ollut löytynyt. Tutkimusmenetelmät kehittyivät kuitenkin koko ajan, joten vikojen löytymismahdollisuudet kehittyivät koko ajan. Tarkoituksena oli kuvata seuraavana vuonna viisi kollektoria. Kun neljä kollektoria oli kuvattu, niistä oli kolmessa havaittu vikoja.

"Todettiin löydetty todennäköisesti valmistuksessa syntyneet viat erittäin vakaviksi." Tehtiin päätös, että kuvataan kaikki kollektorit, joita ei kuvattu 1979 tai 1980.

Neuvotteluissa päätettiin ryhtyä välittömästi toimiin. STL:lle päätettiin teh-

dä erikoisraportti. Tehtävä annettiin Antero Tammiselle ja Antti Autiolle. Sakari Hyryyläinen sai tehtäväkseen raportoida IVO:n ylimmälle johdolle.

Saman tien jaettiin vastuut korjaussuunnitelmista ja säteilysuojelusuunnitelmista. Samoin päätettiin tarkastussuunnittelun aloittamisesta sekä dekontaminoinnin ja korjaustyön suunnittelusta. Samoin sovittiin neuvotteluista AEE:n kanssa.

ANTIN POKKA PITI NOVO-VORONESHISSA

LOVIISAN YDINVOIMALAN käyttöön koulutettavat vierailivat ensimmäisen kerran Novo-Voroneshissa vuonna 1974. Loviisan ydinvoimalan säteily-suojelupäällikkö, filosofian lisensiaatti Björn Wahlström (1946–2004) kirjasi siltä reissulta kirjaansa ”Ydin ja omenankuori, Asiapitoisia ydinvoimapakinoita” tarinan siitä, miten Antti Autio pelasti sekä ivolaiset että neuvostoliittolaiset osapuolet nololta tilanteelta.

Ensimmäisen koulutusmatkan paluuhetkellä meitä tuli bussille hyvästelemään iso mies, johtajanjohtajanjohtaja, jota emme olleet aikaisemmin tavanneet. Myös Anders Palmgren, joka oli ryhmämme arvovaltaisen henkilönä, oli jo ehtinyt vaihtaa siviileihin, eikä hän katsonut voivansa tervehtiä mus-taan pukuun pukeutunutta Big Bossia villapaidassa ja farkuissa. Elettiin silloin Neuvostoliiton aikaa, jolloin symbolit ja ulkoiset merkit olivat äärimmäisen tärkeitä.

Ainoa edustuspuvussa ollut ivolainen oli kunnossapityryhmän päällikkö Antti Autio, joka aina käytti pukua. Palmgren tajusi heti, miten nöyryyttävänä Big Boss kokisi tilanteen, jos hänen kollegansa ei kunnioittaisi hänen läsnäoloaan edes käyttämällä solmio-ta, joten hän tönäisi Aution Big Bossin eteen kuiskaten: Nyt sinä olet minä, ja minä pysyn taustalla... Autio oli muutenkin tunnettu kivikasvoistaan ja piti tälläkin kertaa pokerinsa ihailtavasti. Piti myös edustuspukuun pukeutuneena ylistävän, kauniin ja liikuttavan kiitospuheen, niin kuin etiketin mukaan pomon kuuluu tehdä, ja pelasti näin kaikki osapuolet nolosta tilanteesta.

KOLLEKTORIEN SÄRÖT VAADITTIIN POISTETTAVAKSI

Höyrygeneraattorit ovat suuria komponentteja ja VVER-perusmallin mukaan vaakatasoon rakennettuina ne vievät paljon tilaa. Konstruktion takia reaktorirakennuksesta tuli suuri. Neuvostoliitossa sellainen oli sallittu normikysymys, mutta suomalaiset vaativat suojarakennusta. Höyrystimet piti suomalaisen ajattelun mukaan sisällyttää suojarakennukseen, joten ne olivat osa Petrosjantsin mainitsemaa primääripiirin vastuuta.

Mikä sitten oli höyrystimien kollektori-vikojen turvallisuusmerkitys. Kysyin asiaa kesällä 2025 STUKin entiseltä pääjohtajalta Jukka Laaksoselta. Laaksonen muisteli:

Kollektoreissa oli pieniä säröjä hitsis-sä, joka yhdistää ruostumattomat teräks-set ja hiiliteräksset. En muista kummat oli-vat ruostumatonta terästä, mutta ilmeisesti kollektorit ja primääripiirit olivat hiiliteräs-tä. Uudempien laitosten primääripiirit ovat ruostumatonta, mm. OL3:ssa. Vaara särö-jen kasvusta oli todennäköisesti vähäinen, mutta sitä ei voitu luotettavasti osoittaa. Kollektorihiitset tarkastettiin siihen aikaan muillakin VVER-laitoksilla ja jossain ne oli-vat hyvin huonoja. Pahin havaittu tapaus oli, että hitsejä ei ollut tehty kunnolla vaan hitsipuikkoja oli vain tungettu paksun hit-sattavan alueen sisälle ja päälle päin teh-ty hitsaus näytti kunnolliselta.

Loviisan laitoksella säröt vaadittiin kui-tenkin poistettaviksi hiomalla ja tekemällä uusi hitsaus. En tiedä, tekivätkö työn suo-malaiset vai venäläiset, enkä tiedä, millaisia säteilyannoksia työ aiheutti. Useita vuosia myöhemmin huomattiin, että höyrystimen sisällä ja höyrystintuubi-nippujen keskel-lä olleet hiiliteräksiset syöttövesiputket oli-vat syöpyneet puhki ja ne poistettiin höy-rystimistä.

Uudet ruostumattomat syöttövesiputket asennettiin höyrystintuubi-nippujen yläpuo-llelle. Silloin höyrystimen sisällä oli lyijysuo-juksia vähentämässä säteilytasoa. Suojissa oli ymmärtääkseni lyijyhauleja pusseissa, joten niiden käsittely sekä paikalleen ase-tus oli suoraviivaista. En niidenkään höyry-sintöiden tekijöistä tiedä mitään.

Hitsin osittainen murtuminen tai suuri primääripiirin vuoto hitsistä ei kuitenkaan olisi johtanut vakavaan onnettomuuteen. Ukrainan alueella olevalla Rovnon (Rovens-kajan) laitoksella sattui vuonna 1981 peri-aatteessa samanlainen tapaus, kun kolle-ktorin kansi irtosi vuodon syövytettyä pultit, jotka pitivät primääripiirin sekundääripiiris-tä erottavaa kollektorin kantta paikallaan. Tuolloin primääri-vesi pääsi sekundääripii-riin. Vuoto lopetettiin sulkemalla primää-

ripiirin pääsulkuventtiilit kyseisessä kier-topiirissa.

Sama tapahtumaketju toistui välittö-mästi kolmessa höyrystimessä peräk-käin, mutta loput kolme höyrystintä pysyi-vät ehjinä. Tapahtuman aikana valvomossa ollut vuoropäällikkö kertoi minulle kah-den kesken saunoessamme, että tilan-teen aiheuttama stressi oli valtava ja hä-neltä lähti sen jälkeen tukka lopullisesti. Onnettomuudesta ei aiheutunut vaurio-ta reaktorille. Jälkikäteen kaikilla VVER-laitoksilla tehtiin vahvistuksia kollektoreihin ja aloitettiin uudet määräaikaistarkas-tukset. Pultteja syövyttäneen kansivuodon syy oli, että kansipultteja oli kiristetty liikaa ja niiden lujuus oli heikentynyt.

SÄTEILYTURVALLISUUSLAITOS VALVOI TARKASTUKSIA JA KORJAUKSIA

Neljännesvuosiraportissa 1981 Säteilytur-vallisuuslaitos kertoi, että höyrystimien tar-kastukset jatkuivat:

Tarkastettavia saumoja oli kaikkiaan 36 kappaletta. Säteilylähteenä käytettiin iso-tooppia ja tasavirtaröntgenkonetta. Sau-moille tehtiin lisäksi ultraääni- ja tunkeuma-nestetarkastuksia.

Tehtyjen tutkimusten ja tarkastusten yhteydessä havaittiin, että virheet ovat syn-tyneet valmistuksen aikana. Tarkastuksissa löytyi noin kaksisataa (200) sellaista vir-hettä, jotka eivät täyttäneet valmistuksen Laadunvalvontaohjelman vaatimustasoa. Pääasiassa virheet olivat liitosvikoja, kuu-mahalkeamia ja kuonasulkeutumia.

Neljässä höyrystimessä (kaikkiaan kuusi) tehtiin korjauksia. Kaksi saumaa jouduttiin korjaamaan koko pituudeltaan. Korjauskohdille tehtiin radiografinen ja tunkeumanestetarkastus. Painekokeiden jälkeen korjauskohdat tarkastettiin vielä uu-delleen radiografisesti. Pienemmät virheet jätettiin korjaamatta. Näiden osalta hyväk-symiset perustuivat lujuuslaskelmiin ja suo-ritettaviin määräaikaistarkastuksiin.

Tarkastukset ja korjaukset tehtiin suo-malaisten toimesta. Säteilyturvallisuus-laitos valvoi laitospaikalla tarkastuksia ja korjauksia. ☸

Lähteet

- 1 Suomen ydinvoimalaitosten käyttö neljännesvuosiraportit 1979–1982
- 2 Suomalainen ydinvoimalaitos, Karl-Erik Michelsen, Tuomo Särkikoski, 2005
- 3 Antti Aution haastattelu kesällä 2025
- 4 Antti Aution arkisto
- 5 Jukka Laaksosen haastattelu kesällä 2025

MATERIAALIEN KIERTOTALOUDEN HALLINTA LUONTUISI HYVIN SUOMEN ”ISOKUVASTRATEGIAKSI”

Kesä on varmastikin valtaosalle suomalaisista vuoden parasta aikaa. Kenelle mistäkin syystä tai syistä, kullekin tietenkin omistaan. Itselleni kesä on aina tuonut mieleeni vapauden, vapauden jostakin tai johonkin, eri kesinä eri painotuksin elämäntilanteesta riippuen. Kulunut kesä merkitsi itselleni hyvinkin molempia, irtautumista arjen huolista ja kiireistä ja vapautumista lepäämään ja tekemään kaikessa rauhassa mieluisia asioita. Erityisen mieluista tänä vuonna oli sydänkesän ajattomalta, jokseenkin seisovalta tai pysähtyneeltä tuntunut aika. Oli aikaa ajatella asioita ja kuunnella ja lukea luontoa kesämökillä.

Muistui tässä kirjoittaessani mieleeni joskus kuulemani presidentti Tarja Halosen kertoma tarina. Lapset olivat jossain tilaisuudessa kysyneet silloiselta tasavallan presidentti Haloselta: ”Kun Teillä on presidenttinä aina niin paljon kiireisiä asioita ja tehtäviä hoidettavana, niin ehdittekö Te koskaan ajatella?” Halonen vakuutti lapsille ehtivänsä: ”Voi lapsikullat, aina pitää ehtiä antaa itselleen aikaa ajatella – huonosti menisi, jos sitä ei ehtisi tehdä.”

Kesän jo käännyttyä hellekauden jälkeiselle elokuun loppukuulle kiteytin eräissä ystäväpiirin tapaamisessani keskikesän rauhaa vertaamalla sitä jälleen jo alkaneseen syksyiseen menoon. Mökillä oli kauppareissulla erityismuistettavana vain kolme ”(ä la Alex) -t-asiaa”. Piti muistaa ostaa tikkuja, tuiKKuja ja talouspaperia. Eikä juuri ollut väliä, vaikka olisi ne unohtanutkin, huoltovarmuussioita kun olivat, sellaisia varmuuden vuoksi -asioita ettei loppuisi.

Elokuun lopulla mieltä ylikuormitti jo toistakymmentä erilaista aidosti globaalia ”t-asiaa” johdannaisineen asioissa talous, teknologia, teollisuus, turvallisuus, terveys, tiede, taide, Trump, tullit/tariffit, työ, työttö-

myys/työllisyys, turvatakuut, tietoturva, tulvat, tulipalot ja sitä rataa.

Kesäiltojen rauhassa mietin monenlaista. Muun muassa sitä miksi Suomi on tänäkin vuonna ja jo kahdeksatta peräkkäistä kertaa rankattu maailman kärkeksi onnellisuuskyselyissä. Arvelen suomalaisten läheisen luontosuhteen olevan yksi olennaisimpia syitä suomalaisten onnellisuuteen tai uskottavammin kai tyytyväisyyteen ja luottamukseen elämän tarkoituksellisuudesta.

Mökkiläisen arjen jätteiden huolehtimisesta lähti muutoutumaan ajatus globaaliksi kansalliseksi materiaalien hallinnan strategiaksi. Se ehti kypsyä pakinan otsikoksi vielä ennen kuin oli taas aika palata kuikkien, kurkien, joutsenten mutta toisaalta myös korppien, varisten ja räkätirastaitten konnuilta kotiin muuttomatkalle etelään valmistautuvien Kaivopuiston ja Tapiolan valkoposkianhien ja Kauppatorin lokkien kulmille.

KUUKAUDEN MITTAISEN yhtäjaksoisen hellekauden loppuaika oli omiaan ja-lostamaan ja muokkaamaan ajatteluani muissakin teemoissa, joilla on epäsuora yhteys yhteen tärkeimmistä omista identiteeteistäni, nimittäin insinööri-identiteettiini. Johdattelen jutusteluani niihin kysymyksiin perinteisen small talk -teeman ”säiden piteleminen” avulla.

Tunnetusti ja tunnistetusti maalla helleltä kestää olennaisesti paremmin kuin kaupungin tyypillisessä ilman ilmajäähdytystä olevassa kerrostalossa, jossa sisälämpötilat huitelivat heinäkuun hellejakson aikana 30 C-asteen molemmin puolin. Arviolta 350–400 ennenaikaista kuolemaa tapahtuu Suomen väestössä tämän vuoden helteistä johtuen.

Riskikartoituksissa arviolukua voi tarkastella ja vertailla suhteessa Suomen vuosittaisiin toteutuneisiin liikennekuolemiin, itsemurhalukuihin, hukkumistapaturmiin, huumeiden ja alkoholin aiheuttamiin kuolemiin tai arvioihin kasvihuonekaasupäästöistä ja niiden epäpuhtauksista aiheutuviin kuolemiin. Viimeksi mainittuja kuolemia on arvioitu Suomessa olevan vuositasolla muutama tuhat ja Euroopassa kaikkiaan puolisen miljoonaa.

Kodin kuumassa heinä-elokuun vaihteessa kärvistellessäni mietiskelin, miksi ihmeessä meillä Suomessa ei vieläkään asunnoissa ole jäähdytystä, vaikka riittävän kypsää tekniikkaa on ollut olemassa jo hyvinkin 50 vuotta ja pidempäänkin. Ylpeilemme loistavien arkkitehtien ja maailmankuulujen kapellimestarien töillä ja teoilla. Heidän ansiostaan Suomen maabrändi on epäilemättä paljon parempi kuin mitä se olisi ilman heitä. Siihen kun lisää vielä Kimiä ja Mikaa, Marimekkoa ja Muumia, niin jo on mukavan mairea olo itse kullakin ”sohvafileosofilla”. Paitsi että ei, kun on niin tukahduttavan kuumaa. Miksi on niin kuumaa?

Olisiko ehkä niin, että Suomessa arkkitehteillä on rakentamisessa ollut aivan liian suuri vaikutusvalta ja sen myötä myös valta? He ovat pomottaneet insinöörikutta, joka kyllä osaa, jos saa rakentaa ja varustaa rakennukset korkean teknologian tuotteilla. Osataan kyllä sähköt, energian säästöt, lämmitykset, jäähdytykset, rakennesuunnittelu, ilmastointi, tietoverkot. Mutta kun arkkitehdit ovat aina olleet arvostettuja päällepälmäireitä ja kauneusarvot, esteetiikka ja maailmanmaine ovat olleet kansakunnalle tärkeämpiä kuin käyttäjien todelliset tarpeet ja hinta/laatu-suhteen kannalta tehokkaimmat ratkaisut.

KUN YÖTÄ VASTEN kodin lämpötila hyvällä läpivetoletutuksella laski ajattelun laadukkaammaksi onnistumiseksi siedettävän alhaiselle tasolle, arkkitehdit saivat mielekseni synninpäästön. Onhan toki hienoa ja Suomelle kunniaksi, että meillä on kuuluisia arkkitehtejä. Ja insinööritkin ovat motivoituneita ja osaavia. Kyllä he rakentaisivat, mutta kun suomalainen perushyve on aina ollut säästäväisyys, talkoilla jos vain ja pankitkin panttaavat rahan lainaamisessa, niin rakentamisessa kilpaillaan enemmänkin, kuinka päästäisiin mahdollisimman halvalla.

Eikä Rooman Klubin Kasvun rajat -raportin julkistamisen aikaan 1970-luvulla ylipäätään kärsitty kuumasta vaan päinvastoin kehoitettiin käyttämään säästeliäästi maapallon niukkoja fossiilisia ja muita materiaalisia varantoja tai muuten meidät ”hukka perii”. Moottoritillä Tuusulaan katuvalot

sammutettiin klo 21, mutta vieressä olevala rinnakkaistiellä katuvalot paloivat läpi yön tyhjällä tiellä. Pelättiin, kuoleeko ihmiskunta joskus lähivuosisatoina sukupuuttoon kylmään ja puutteeseen, ei kuumaan ja ylikulutukseen. Itse asiassa jälkimmäistä tapahtumien kulkua ei osattu edes pelätä, joskin lopputulos toki olisi yhtä lopullinen.

Ajatukset seilasivat kuuman ja viileämmän ja päivän ja yön väliä, kunnes hellekausi vihdoinkin päättyi. Taisi ajattelukisani arkkitehtien ja insinöörien välillä lopulta päättyä diplomaattiseen tasapeliin ja hyvä niin. Kumpikin ammattikunta on taitavaa ja kumpaakin tarvitaan. Mutta sen sijaan havahduin ajattelemaan, että kum-

pikin ammattikunta vieroksuu politiikkaa. Harvassa heitä on aikojen saatossa ollut kansanedustajina.

Vallan kahvassa ovat erityisesti olleet lakimiehet. Itsenäisen Suomen presidentteistä ja valtionhoitajista seitsemän 13:sta on juristeja. Juristien rinnalla valtaa pitävät ovat tyypillisesti valtiotieteilijöitä ja taloustieteilijöitä. Insinöörikunta on eräänlaista "Pelle Peloton"-joukkoa, joka haluaa puuhata omissa hiekkalaatikoissaan omien kivojen asioittensa parissa ja pysyä mahdollisimman kaukana vallan kammareista. Itseään saavat syyttää eikä peiliä, jos naama on vino, jos ja kun muut päättävät heidän puolestaan asioista.

KESÄN POHDISKELUJENI ja analysointieni lopputulema kiteytyy pakinan otsikossa. Mökillä luonnon helmassa tulien vakuuttuneeksi, että maaseudun jätehuollon järjestämisessä on kyllä edistytty, siinä on paljon hyvää. Mutta työ on vielä selvästi kesken.

Tarvitaan johdonmukaista järjestelmällistä kehittämistyötä, sellaista mikä toimintatapana on insinöörikunnalle erityisen ominaista, sanoisin "nenänä päähän kuuluvaa". Mutta tarvitaan myös poliittista tahtotilaa, taloudellisia resursseja ja myönteistä kansalaisasennetta kehittää menetelmiä ja käytänteitä paremmiksi. Kaiken kaikkiaan laajamittaista poikkitieteellistä strategista yhteistyötä, jossa kansalliset voimavarat valjastetaan toteuttamaan yhteistä kansallista etua.

Hyvin toteutettu jätehuolto erityyppisissä olosuhteissa kaikkialla Suomessa toimisi hyvin mallina myös teollisuuden ja elinkeinoelämän eri toimialoille. Nykyisessä maailmassa materiaalien ja raaka-aineitten saatavuus on olennainen niukka resurssi, joten tarvitaan tehokasta materiaalien kiertotaloutta, jälleenkäsitelyä ja teollisuusprosessien kehittämistä kohti niin sanottua vihreää siirtymää.

Ydinenergia-alalla sitä mitä suurimmassa määrin olisi käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsitely uudeksi ydinpolttoaineeksi sen sijaan, että se haudataan tuhansiksi vuosiksi maan syvyyksiin. Suomen geologinen maaperä soveltuu toki hyvin myös sellaiseen, mutta yhtä lailla myös väliaikaiseen varastointiin.

TOIVOISIN SUOMEN PYRKIVÄN yhteistyössä EU-maiden ja muiden halukkaiden maiden kanssa sellaiseen "isokuvastrategiaan", jossa uskotaan ja luotetaan tieteen kykyyn kehittää riittävän turvallisia ja jatkuvasti parempia ja taloudellisempia materiaalien hallintaratkaisuja. Maailma etenee valtavasti tekoälyavusteisin harppauksin tiedon ja tietämyksen tuottamisessa. Kunhan siinä junassa onnistumme pysymään myös Suomessa, niin kyllä me pärjäämme.

Suomalaisuuden syvällisintä identiteettiä voi kiteyttää kolmeen sanaan, jotka englannin kielellä ovat "living, loving, being". Niistä huokuu moni asia, muun muassa suomalaisten läheinen suhde luontoon. Vuosittain elokuun viimeisenä lauantaina vietetään Suomen luonnon päivää. Suomi on Ylen TV-uutisten kertoman mukaan ainoa maa maailmassa, jossa kyseinen päivä on myös yleinen liikutuspäivä. Se jos mikä todistaa suomalaisten luontorakkaudesta.

Turvallisuusfilosofi



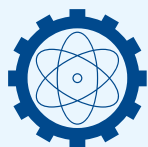
Kuva: Visit Kotka-Hamina

Palautusosoite:

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

Osoitteenmuutokset:

sihteeri@ats-fns.fi

**ATS**

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

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