

ATS

YDINTEKNIikka

3|2021

Vol. 50

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

Suomen ensimmäinen käytöstäpoistolupa

Valtioneuvosto antoi luvan Otaniemen tutkimusreaktorin käytöstä poistamiseen, joten purkutyöhön päästään ensi vuonna.

Loppusijoitusratkaisu hyvin matala-aktiiviselle jätteelle

Teollisuuden Voima teki ympäristövaikutusten arvioinnin maaperäloppusijoitukselle, jota ei ole aiemmin käytetty maassamme.

3D-mallinnuksella monia käyttökohteita

3D-mallien käyttö on kehittynyt ja laajentunut ydinvoimalaitosten suunnittelusta ja luvituksesta käyttöön, koulutukseen ja käytöstäpoistoon.



Julkaisija / Publisher

Suomen Atomiteknillinen Seura – Atomtekniska Sällskapet i Finland r.y.
www.ats-fns.fi

Johtokunta / Board

Puheenjohtaja / President

TkT Markus Airila
puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja / Vice President

DI Lauri Rintala
lauri.rintala@tvo.fi

Sihteeri / Secretary General

FM Jussi Peltonen
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

FM Maria Lindholm
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

Jäsenet / Board Members

SK Tuomo Huttunen
tuomo.huttunen@fennovoima.fi

MSc Ana Jambrina
ana.jambrina@vtt.fi

DI Olli Nevander
olli.nevander@rosatom.fi

DI Simo Saarinen
simo.saarinen@iki.fi

Toimihenkilöt / Functionaries

ATS Young Generation

DI Pekka Pihlanko
pekka.pihlanko@platom.fi

Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

DI Henri Ormus
henri.ormus@fennovoima.fi

Women in Nuclear Finland

FT Eveliina Muuri
eveliina.muuri@gmail.com

www.vastaava / Webmaster

DI Juha-Pekka Hyvärinen
webmaster@ats-fns.fi

ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkL Eero Patrakka
eero.patrakka@kolumbus.fi

Toimitus / Editors

Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

TkT Jarmo Ala-Heikkilä
jarmo.ala-heikkila@aalto.fi

Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

TkT Henri Loukusa
henri.loukusa@gmail.com

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

FT Antti Rätty
antti.ratty@vtt.fi

DI Alekski Savolainen
aleksi.savolainen@tvo.fi

FT Mervi Söderlund
mervi.soderlund@fennovoima.fi

Toimituksen yhteystiedot

ATS Ydintekniikka

c/o Jarmo Ala-Heikkilä
PL 15100
00076 Aalto
p. 050 433 1198

Painopaikka

Hämeen Kirjapaino 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 jäsenseura.

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

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

Uudelleenkäynnistelyä

TIETOKONEIDEN KÄYTTÄJILLE TUTTU toimenpide jo ensimmäisistä PC:eistä alkaen on ollut uudelleenkäynnistys. Sitä on vaadittu ja vaaditaan edelleen, kun joku tietokoneelle tärkeä ohjelmisto muuttuu useimmiten tietoturvapäivityksen seurauksena. Aiemmin uudelleenkäynnistys saattoi ylittää kesken seminaariesityksen, mutta tässä suhteessa käyttöjärjestelmät ovat vuosien varrella sivistyneet.

Koko yhteiskunta on nyt uudelleenkäynnistykseen edessä, ja se tuntuu tapahtuvan maa kerrallaan. Iso-Britannia, Israel ja Tanska ovat edenneet eturintamassa, ja Suomi seuraa perässä turvallisisissa tarkkailuasemissa. Kun puolentoista vuoden poikkeusolosuhteista palataan uudelleenkäynnistykseen jälkeen normaaliin toimintatilaan, niin yhteiskunnan käyttöjärjestelmä on päivittynyt. Poikkeusaikana opittiin tekemään joitakin asioita uudella tavalla, joka on osoittautunut entistä normaalityypä paremmaksi tai ainakin oivaksi vaihtoehdoksi sille.

ATS:n osalta on edessä samanlainen uudelleenkäynnistys. Seuran ja sen toimintaryhmien aktiivisuus on ollut toimintarajoitusten takia matalalla tasolla, mutta nyt yhteiskunnan avautumisen myötä voidaan myös ATS-toimintaa käynnistää uudelleen. Seuran käyttöjärjestelmään ei ole tainnut tulla kovin merkittäviä päivityksiä, mutta seminaarien järjestäminen lähi/etä-hybridimoodissa on selkeä parannus aikaisempaan, joten uskon sen jatkuvan.

ATS:n uudelleenkäynnistykseen aloitti elokuun seminaari, jossa asiaan sopivasti katseltiin historian suuntaan. Jaakko Leppänen kertoi alikriittisestä Miilusta, jonka Voimayhdistys Ydin lahjoitti Teknilliselle korkeakoululle 1958 ja joka käytännössä käynnisti atomiajan Suomessa. Karl-Erik Michelsen puolestaan valotti VVER-reaktoreiden kehityskaarta ja suomalaisten osuutta siinä. Esitykset löytyvät seuran verkkosivuilta.

Elokuun seminaarissa juhlistettiin tämän lehden 50. vuosikertaa. Lehden aiemmat päätoimittajat olivat kokoontuneet kanssani poh-



timaan menneitä sekä miten saataisiin evästyksiä tulevaan. Jälkimmäisessä otettiin avuksi paneelikeskustelu, jossa monipuolinen ATS-aktiivien ryhmä pohti jäsenlehden tekoa pääasiallisena näkökulmanaan tulevaisuus.

Seminaarissa myös julkistettiin juhluvuoden digikuokka eli lehtiartikkelien haku-kone. Sen avulla toimitus toivoo, että ATS Ydintekniikan lehtiarkisto <https://ats-fns.fi/fi/ats-ydintekniikka/lehdet> tulee entistä ahkerampaan käyttöön. Vaikka kaikki ei ollut paremmin ennen, menneisyydestä kannattaa ammentaa oppia tulevaisuuteen.

Jarmo Ala-Heikkilä

Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Uudelleenkäynnistelyä	3
Pääkirjoitus: Mahdollistetaan ydinenergia-alan kehitys	4
Editorial: Enabling the development of the nuclear energy sector	5
Pakina: Täällä kulttuuri- ja tapahtuma-ala sekä tiede ja taide, kuu(nte)leeko hallitus?	38

Arkiston helmi

Ydinenergian globaalisen käytön tulevaisuus – Joukkopsykologinen ongelma	16
--	----

Tapahtumat

ATS Ydintekniikka 50 vuotta -juhlaseminaari	6
Nordic Nuclear Forum 2021 – Aiheena toimitusketjut ja liiketoimintamahdollisuudet	9
Suomalainen kaukolämpöreaktori	12
Fuusioekosysteemille merkittävä rahoitus Business Finlandilta	15

Ajankohtaista

Paul Scherrer Institut – ydinturvallisuustutkimusta Sveitsissä suomalaisten tekemänä	18
--	----

Näin synnyttiin Suomen ensimmäinen käytöstäpoistolupa	22
---	----

Oikiluotoon suunnitteilla uusi hyvin matala-aktiivisen jätteen loppusijoitusratkaisu	26
--	----

Tiede ja tekniikka

Kymmenen vuotta Fukushima onnettomuudesta	29
<i>Tuomo Sevón</i>	

Edistykselliset ydinpolttoaineen suojausratkaisut	32
<i>Janne Heikinheimo</i>	

Use of 3D Models in Nuclear Power Plant Projects	34
<i>Caetano Porto, Peter Gáj, Václav Vejborný</i>	

Mahdollistetaan ydinenergia-alan kehitys

YDINENERGIA-ALA ja sen vaatimukset ovat muuttuneet voimakkaasti sen lähes neljännesvuosisadan aikana, jonka olen kulkenut mukana. Nykyisessä tehtävässäni Platomilla olen päässyt tutustumaan myös Suomen uusimpaan ydinvoimalaitoshankkeeseen ja laajemmin kansainväliseen kenttään kuin myös miettimään uusien pienreaktoreiden tuloa sekä lainsäädännön kehittämisen perimmäisiä kysymyksiä. Tuhansien vaatimusten viidakko, jo pelkästään ydinturvallisuusohjeiden osalta, on haastava hallita ja niiden soveltamisen tuska on meille kaikille jollain tapaa tuttu, saati sitten isompien projektien kymmenien tuhansien vaatimusten oikea-aikainen ymmärtäminen, hallinta ja jalkauttaminen toimitusketjuissa.

Töitä riittää, joka tasolla, viime vuosien kehityksen seurauksena yhä enemmän. Kysymys kuuluu, miten takaamme tämän ilmastoystävällisen alan olemassaolon ja kasvun? On todella tärkeää muun muassa edistää EU:n taksonomiassa ydinvoiman asemaa, jotta tulevaisuuden investointien rahoitukset ja rahoituskustannukset voidaan pitää kannattavalla tasolla. Myös Suomessa tosiasioihin perustuva alamme ääni tulee saada kuuluville. Ollaan aktiivisia, sillä vaikuttaminen ei ole yksittäisten alan aktiivien vastuulla.

Suomessa meidän kuuluu tukea ja mahdollistaa ydinenergian käyttö eritoten kehittyvien lakien, asetusten, määräysten ja vaatimusten avulla. On selvää, että tehtävä ei ole helppo. Luvitusprosessien kompleksisuus ja eri lakien ja säädösten sekä käytänteiden yhteensovittaminen on laajaa asiantuntemusta vaativaa työtä. On jo onneksi yleisesti tunnustettua, että tarvitsemme ydinenergialainsäädännön uudistuksen ja vaatimustason tarkoituksenmukaisuuden tarkastelun eri ratkaisuille.

Lakien tasolla muutostarpeet eivät itse asiansa ole niin merkittävät kuin muualla säädöksissä ja vaatimuksissa: lähinnä pieniin reaktoreihin liittyen tulisi saada lyhyellä aikajänteellä parannusta. Kaunista olisi tietysti päästä valmistelemään huolella kokonaisuudistus, mutta aikajänne tulee väijäämättä liian pitkäksi? Kaikki tuki lakimuutosten valmistelijoille, teette arvokasta työtä!

On tärkeää, ettemme hidasta oman maamme kehittymistä ja investointihalukkuutta liian vaikealla ja hitaalla kansallisella vaatimustasolla ja luvitusmenettelyillä. Monet maat satsaavat uusien tekniikoiden markkinoille saamiseksi toden teolla. Myös Suomessa kehityksen on hyvä jatkuu: tarvitaan jo seuraavia askeleita, sillä isojen rinnalle tulee saada pienet (modulaariset) reaktorit.

Suomessa on ydinenergia-alalla useita erilaisia toimijoita ja kehitystyötä. Yhteistyöprojekteja on saatu vahvistettua ja uusia on saatu käyntiin kuten kansallisen laitetasoisen kelpoistuksen kehittämisen KELPO-hanke. Ilolla saamme todeta, että jo monessa kehitystyössä istumme samaan pöytään eri toimijoiden kanssa ja tähtäämme yhteisesti koko alan toimintaedellytysten parantamiseen.

Tämä ei ole ollut maassamme itsestään selvää. Emme pärjää, jos emme tee vahvaa yhteistyötä. Kehitämme menettelyitä yhdessä niin, että voimme taata ydinenergian käytön jatkossakin, turvallisesti ja taloudellisesti.

Platom toimii nykyisten suomalaisten vaatimusten mukaan toteutettavissa hankkeissa niiden kaikissa elinkaaren vaiheissa. Olemme myös mukana aktiivisesti etsimässä entistä parempia turvallisuuden varmistavia menettelyitä, myös kansainvälisesti. Kiitos asiakkaillemme, meillä on ollut onni saada toimia alalla jo yli kahdenkymmenen vuoden ajan, yhteensä yli 600 projektia erilaisissa ympäristöissä.

Tämä antaa tarvittavaa laaja-alaisuutta ja pystymme Platomilla yhdistämään eri projektien tuomaa kokemusta ja asiantuntemusta asiakkaidemme hyväksi. Voimme varmistaa yritysten kyvykkyyden toimia projekteissa riittävien johtamis- ja laadunhallintajärjestelmien menettelyiden ja työkalujen avulla. Teemme laitos- ja projektiokohtaista luvitus- ja kelpoistussuunnittelua sekä tuemme muun muassa eliniän hallinnassa ja turvallisuuden optimoinnissa.



Teemme paljon töitä myös alan muuttuvien vaatimusten kouluttamisen parissa niin ydin- kuin säteilyturvallisuudenkin osalta. Toimimme lisäksi järjestelmä- ja laite-toimittajana turvallisuusluokitelluissa projekteissa ja näissäkin töissä tarvittavat lukuisat viranomaisaineistot ovat meille tuttuja.

Jokaisella meistä on vastuu, projektien haasteista huolimatta, tehdä parhaansa ja kehittää toimintaa ja työkaluja. Tämä ei tapahdu silti lisäämällä vaatimuksia tai hallintoa. Jos liian raskaat menettelyt estävät korjaustöitä, pitkittävät niiden toteutumista tai hidastavat turvallisuutta parantavia muutoksia, on hyvä pysähtyä miettimään, miten saamme varmistettua turvallisuuden jatkuvan ylläpidon ja parantamisen.

Keskustellaan, mahdollistetaan ja luodaan uusia ydinteknologian väyliä ja houkutellaan uusia mukaan. Toivottavasti saan matkata kanssanne tällä kestävässä kehityksen alalla seuraavatkin vuosikymmenet.

DI Kirsi Hassinen

Liiketoimintayksikön johtaja, johtava asiantuntija Luvitus, kelpoistus ja viranomaisvaatimukset Platom Oy
kirsi.hassinen@platom.fi

Enabling the development of the nuclear energy sector

THE NUCLEAR INDUSTRY and its requirements have changed dramatically in the nearly quarter of a century I have been involved. In my current role at Platom, I have had the opportunity to learn about Finland's latest nuclear power plant project and the wider international scene, as well as to reflect on the advent of new small reactors and the underlying issues of regulatory development. The jungle of thousands of requirements, just in terms of nuclear safety guidelines alone, is challenging to manage and the pain of applying them is familiar to all of us in some way, let alone understanding, managing and implementing the tens of thousands of requirements for larger projects in a timely manner in supply chains.

There is more and more work to be done, at all levels, as a result of developments in recent years. The question is how do we ensure the existence and growth of this climate-friendly sector? It is really important, among other things, to promote the role of nuclear power in the EU taxonomy so that the financing costs of future investments can be kept at a viable level. In Finland, too, the voice of our sector, based on facts, must be heard. Let us all be active – it is not the responsibility of individual activists to try to influence.

In Finland, it is our duty to support and enable the use of nuclear energy, especially through developing laws, regulations, rules and requirements. It is clear that this is not an easy task. The complexity of licensing processes and the need to coordinate different laws, regulations and practices is a task that requires extensive expertise. Fortunately, it is already widely recognised that we need a reform of nuclear energy legislation and a review of the appropriateness of the level of requirements for different solutions.

At legislative level, the need for change is in fact not as significant as elsewhere in regulations and requirements: it is mainly small reactors where improvements should be made in the short term. It would be nice, of course, to be able to carefully prepare an overall re-

form, but will the timeframe inevitably be too long? All support to those who are preparing the legislative changes – the work is valuable!

It is important that we do not slow down our own country's development and willingness to invest by too difficult and slow national requirements and licensing procedures. Many countries are investing heavily to bring new technologies to market. In Finland, too, development should continue: the next steps are already needed, as small (modular) reactors must be introduced alongside the large ones.

In Finland, there are many different actors and developments in the nuclear energy sector. Cooperation projects have been upgraded and new ones have been launched, such as the KELPO project for the development of national equipment qualification. We are pleased to note that we are already sitting at the same table with different actors in many development activities and are working together to improve the operating conditions of the entire sector.

This has not been self-evident in our country. We will not succeed if we do not cooperate strongly. Together we will develop procedures to ensure that we can continue to use nuclear energy safely and economically.

Platom works on projects at all stages of their life cycle that meet current Finnish requirements. We are also actively involved in the search for better safety procedures, also internationally. Thanks to our clients, we have been fortunate to have been working in the industry for more than twenty years, with a total of more than 600 projects in various environments.

This gives us at Platom the necessary breadth and allows us to combine experience and expertise from different projects for the benefit of our clients. We can ensure the ability of companies to perform on projects through adequate management and quality management procedures and tools. We provide site- and project-specific licensing and qualification planning and support in areas such as aging management and safety optimisation.

Platom is also conducting a lot of work on training for the changing requirements of the sector, both in nuclear and radiation safety. We also act as a systems and equipment supplier for classified projects and are familiar with the numerous regulatory documents required for this work.

Each of us has a responsibility, despite the challenges of projects, to do our best and improve our activities and tools. But this is not done by increasing requirements or administration. If overly heavy procedures are preventing repairs, delaying their implementation or slowing down changes to improve safety, it is time to stop and think about how we can ensure that safety is continuously maintained and improved.

Let us discuss, enable and create new nuclear technology pathways and attract new ones. I hope to travel with you in this field of sustainable development for decades to come.

MSc(Tech) Kirsi Hassinen

Business Unit Director, Leading Expert
Licensing, Qualification & Authority
Requirements
Platom Oy
kirsi.hassinen@platom.fi



ATS Ydintekniikka 50 vuotta -juhlaseminaari

ATS Ydintekniikka -lehden juhlaseminaarissa pidettiin esityksiä Suomen ensimmäisistä ydinlaitoksista ja kerrattiin lehden historiaa.

Teksti: Antti Rätty



FT Antti Rätty
ATS Ydintekniikan toimituskunta
antti.raty@vtt.fi

ATS YDINTEKNIikka -LEHDEN 50 V -juhlaseminaari pidettiin Otaniemen Dipolissa keskiviikkona 18.8. Koronarajoituksista johtuen tapahtuma järjestettiin hybridimuotoisena. Paikan päällä tapahtumaan osallistui noin 20 henkeä ja Zoom-yhteydellä noin 50 henkeä.

Ohjelmaan oli valittu kaksi tieteellistä esitystä, esityksiä lehden historiasta ja paneelikeskustelu lehden tarkoituksesta ja tulevaisuudennäkymistä.

Esitykset ensimmäisistä ydinlaitoksista

Ensimmäisessä esityksessä tutkimusprofessori Jaakko Leppänen kertoi Suomen ensimmäisestä ydinlaitoksesta, ns. alikriittisestä miilusta, joka oli käytössä Otaniemessä vuosina 1958–1975. Pertti Aarnio ja Jarmo Ala-Heikkilä olivat avustaneet esityksen aineiston keräämisessä.

Suomen teollistuessa 1950-luvulla sähkön tarve kasvoi nopeasti ja miilun hankinta liittyi ydinenergian hyödyntämisen selvityksiin. Sellu- ja paperiteollisuuden perustama Voimayhdistys Ydin lahjoitti miilun Teknilliselle Korkeakoululle vuonna 1957. Alikriittiset reaktorit olivat tuolloin osa yleisesti käytössä olevaa ydinfysiikan perustutkimuksen infrastruktuuria. Miilua käytettiin lähinnä opetus- ja havainnointivälineenä ydintekniikan kurseissa.

Käytännössä miilu muodostui alumiinikuorisista uraanisauvoista vedellä täytetyssä moderaattoritankissa, jossa oli myös grafiittiheijastin ympärillä. Tutkimuslaite oli rakennettu pieneen puuparakkiiin nykyisen Otakaaren varrella tuolloin vielä lähes rakentamattomaan Otaniemeen.

Alikriittisenä asetelmana kasvutekijä oli rajattu 0,97:ään ja "reaktorin" käytössä vaadittiin ulkoisen Po-Be -neutronilähteen käyttöä. Mielenkiintoisena seikkana Suomessa riitti tuolloin ydinteknistä valmistusosastomista: uraani kapseloitiin alumiinikuoriinsa Ahlströmin konepajalla Varkaudessa, missä on myöhemmin valmistettu tankki miilun lisäksi FIR 1 -tutkimusreaktoriinkin.

Vasemmalla: Juhlaseminaari alkamassa Dipolin auditoriossa (kuva: Jussi Peltonen).

Alkuperäistä Iso-Britanniasta ostettua polttoainetta, metallista luonnonuraania, täydennettiin vuonna 1964 Neuvostoliitosta saadulla 10-prosenttiseksi väkevöidyllä polttoaineella. Tämä mahdollisti uusia tutkimustarkoituksia, mutta vaati myös kriittisyysturvallisuuden uudelleen arviointia ja monia muutoksia miilun rakenteisiin.

FiR 1 -tutkimusreaktori valmistui vuonna 1962 ja se vähitellen korvasi miilun tutkimustarpeita. Näin ollen miilun käyttö lopetettiin vuonna 1973 ja rakennus purettiin 1976 teknillisen fysiikan osaston laajentamisen yhteydessä.

Rakenteiden neutroniannokset olivat hyvin minimaalisia, eikä miilu aiheuttanut tuolloin merkittävää jäteongelmaa. Heijastingrafiitit päätyivät jopa taideteoksessa käytettäväksi. Polttoainesauvoja sen sijaan varastoitettiin Suomessa vuoteen 2018 asti, jolloin niille löytyi uusi elämä Tshekin Teknillisen Yliopiston uudessa alikriittisessä reaktorissa. Sen pitäisi valmistua ensi vuonna.

Toisena esityksenä professori Karl-Erik Michelsen LUT-yliopistosta piti esityksen Loviisan voimalaitoksen hankinnasta ja alkuvaiheista. Tarjouskilpailuvaiheessa ainakin saksalaiset ja ruotsalaiset mallit olivat johdossa, mutta varmasti osin niisanotuista yleisistä syistä johtuen päädyttiin Neuvostoliiton vaihtoehtoon.

IVO vaati kuitenkin perusrakenteeseen lukuisia päivityksiä länsimaisella teknolo-

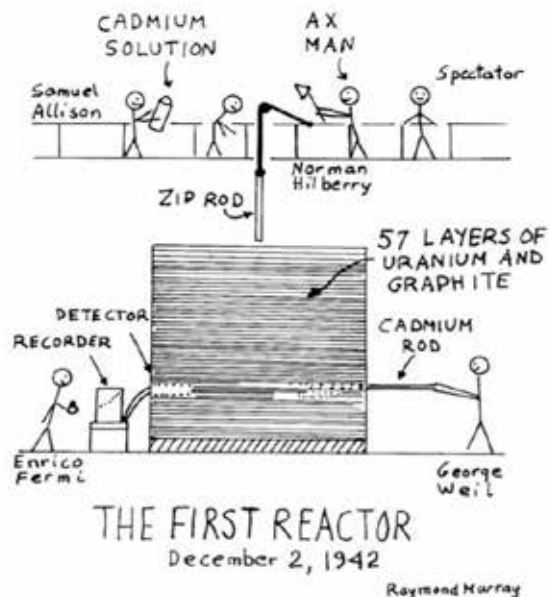
gialla, jolloin puhuttiin lopulta Eastinghouse-reaktorista. Esitys herätti paljon muisteluja laitteistohankinnoista ja päivitysten vaikutuksista myöhempiin VVER-reaktoriinprojekteihin.

Lehden historiaa ja tulevaisuutta

Tieteellisten esitysten jälkeen Jarmo Ala-Heikkilä esitti hänen ja aiempien päätoimittajien tekemää katsausta lehden historiasta. Seuran sihteeri Tapani Graae perusti lehden vuonna 1971 nimellä ATS Tiedotuslehti, joka muutettiin myöhemmin muotoon ATS Ydintekniikka.

Seuran sääntöjen mukaisesti ATS Ydintekniikan tarkoituksena on edistää ydintekniikan alan tunteutumusta ja kehitystä maassamme levittämällä tutkimus- ja kehitystyöhön perustuvaa tietoa ammattiyhteisön tietoon sekä yleistajuisesti suurelle yleisölle. Alusta lähtien periaatteena on ollut ”jäseniltä jäsenille”.

Jäsentapahtumissa pidetyt esitykset ja kotimaan uutiset ovat pysyneet perussisältönä alusta lähtien. Ajan hengessä juttuaiheissa ovat näkyneet esimerkiksi laitoshankkeet,



Jorma K. Miettisen artikkelissa numerossa 3/1991 julkaistu pilakuva edusti lehden orastavaa huumorilinjaa.

ydinjäteasiat ja vakavat onnettomuudet. Tähän mennessä lehteä on julkaistu 197 numeroa, joissa on ollut yhteensä yli 2500 juttua.

Nykyään lehden taitto, paino ja postitus muodostavat noin puolet seuran vuosibudjetista, mutta toisaalta palautekyselyissä moni on todennut lehden olevan jäsenistön tärkein yhteys seuran toimintaan.



TAPAHTUMAT


Seuran 50-vuotisjuhlavuonna 2016 kaikki lehdet skannattiin saatavaksi nettisivuille. Nyt lehden juhlavuonna arkiston käytettävyyttä on parannettu julkaisemalla nettisivuille artikkelien hakukone, jolla voi selata artikkeleita numeron, osion, otsikon tai kirjoittajan perusteella. Yleisökommenteissa ehdotettiin myös uusimman numeron julkaisemista nettisivuille ”maksumuurin” takana.

Ala-Heikkilän esityksen jälkeen pidettiin paneelikeskustelu, jossa puhuttiin muun muassa, onko ATS Ydintekniikassa liian hankalia aiheita julkaistavaksi ja miten lehti liittyy seuran toimintaan. Panelisteina olivat Eero Patrakka, Kai Salminen, Hanna Tynys ja Ville Tulkki, ja keskustelujen sisältöön palataan lehden tulevissa numeroissa.

Loppukevennys kolumneista

Seminaarin loppuksi Olli Nevander analysoi ATS Ydintekniikan kolumneja vuosien varrelta. 1970- ja 1980-luvuilla lehdet olivat va-

kavamielisiä, koska niissä käsiteltiin paljon muun muassa yksityiskohtaisia teknisiä kysymyksiä ja säteilyn terveystaikutusten arviointia. Pakinat vakiintuivat lehden sisältöön 1990-luvulla. Kirjoittajia ja nimimerkkejä on ollut useita.

Yleisenä linjana aihevalinnat ja kielenkäyttö on suunnattu ydintekniikan ammattilaisille, minkä vuoksi huumori ei välttämättä koskettaisi satunnaista lukijaa. Kolumnit ovat kuitenkin antaneet mahdollisuuden esittää humoristisella tyyllillä kritiikkiä esimerkiksi poliittisista päätöksistä ja projektien viivästyksistä. Mielenkiintoista oli myös keskustelu perinteisesti konservatiivisen alan mahdollisen itsensensuurin vaikutuksista aiheiden käsittelyyn. 

Jaakko Leppäsen tekemä valokuviin perustuva 3D-mallinnus miilusta.





*Nordic Nuclear Forum 2021
konferenssipuhujia (päivä 1):
Tommi Nyman, Sama Bilbao y León,
Frédéric Lelièvre, Christopher Nitta,
Liisa Heikinheimo, Rich Everett,
Juhani Hyvärinen, Timothy Check ja
Mikhail Chudakov.*

Nordic Nuclear Forum 2021

– Aiheena toimitusketjut ja liiketoimintamahdollisuudet

Vuonna 2019 järjestetty kansainvälinen ydinenergiatapahtuma Nordic Nuclear Forum sai jatkoa, kun 8.–9.6.2021 FinNuclear järjesti NNF2021 Suppliers Edition -tapahtuman. Korona-rajoitusten takia tilaisuus toteutettiin täysin virtuaalisena, ja se keräsi laajasti osallistujia ympäri maailmaa. Tapahtumassa kuultiin eri maiden ydinvoimaprojektien tilanteista käsitellen uudet ydinvoimahankkeet, SMR:t, käytöstäpoisto sekä ydinjätehuolto.

Teksti: Marjut Vähänen



TkL, KTM, eMBA Marjut Vähänen
Toiminnanjohtaja
FinNuclear ry
marjut.vahanen@finnuclear.fi

TAPAHTUMAAN OSALLISTUI kaiken kaikkiaan 280 henkeä yli 140 eri yrityksestä ja siellä kuultiin 24 konferenssiesitelmää ja 10 sponsorien puheenvuoroa sekä pidettiin lähes 340 kahdenkeskistä B2B-tapaamista. Tapahtuman aikana oli myös

mahdollista tutustua virtuaalisesti 25 näytteilleasettajayritykseen. Lisäksi IAEA järjesti tapahtuman yhteydessä webinaarit “Factoring climate resilience into the design of clean power infrastructures” ja “Use of Commercial Grade Items – When and how?”



Nordic Nuclear Forum 2021 konferenssi puhujia (päivä 2): Pierre-Yves Cordier, Kalev Kallemets, Andrzej Sidło, Andrius Vysniauskas, Teemu Laurila, Marjut Vähänen, Mika Pohjonen, Tero Lytsy, Eero Heikkinen, Niklas Bergh, Rauno Kettunen (koko tapahtuman moderaattori) ja Klaus Fischer-Appelt.

Konferenssi-osuus oli jaettu eri teemoihin, joita olivat liiketoimintamahdollisuudet Euroopassa, ydinvoima-alan toimitusketjujen kehitys, uudet ydinvoimahankkeet ja alan kehitys sekä käytöstäpoisto- ja ydinjätehuolto-hankkeet. Esitysten avulla haluttiin antaa osallistujille tietoa ydinvoimahankkeisiin liittyvistä liiketoimintamahdollisuuksista, hankkeiden tilanteista ja tulevista suunnitelmista.

Lisäksi keskusteltiin pienten modulaaristen reaktoreiden (SMR) mahdollisuuksista sekä vaikutuksista toimitusketjuihin ja koko alaan. Käytöstäpoistoon liittyen kuultiin konkreettisia esimerkkejä toimijoilta, joiden laitokset olivat purkuvaiheessa. Lopuksi esiteltiin myös suomalaista ydinjätehuollon tarinaa ja siihen liittyvää yritysesysteemiä.

Tapahtuman 1. päivä

Ensimmäisenä päivänä kuultiin TEM:n energiaosaston päällikön Riku Huttusen esitelmä ydinenergian merkityksestä Suomen energiantuotannossa. Kunnianhimoisten ilmastopäästötavoitteiden vuoksi ydinvoiman merkitys kasvaa koko ajan, koska ne saavuttaakseen Suomi tarvitsee kaikki hiilivapaat ja kestävät energiamuodot käyttöönsä. Suomen lainsäädäntöä tullaankin uudistamaan perusteellisesti, jotta se olisi selkeämpi ja soveltuvampi toimintaympäristön muuttamiseen.

IAEA:n ydinenergiaosaston päällikkö, apulaisjohtaja Mikhail Chudakov korosti myös puheessaan, miten ydinvoiman avulla voidaan tuottaa päästötöntä energiaa, jota tarvitaan yhä enenevässä määrin, koska edelleen miljoonat ihmiset ovat ilman sähköä ja määrä kasvaa koko ajan. Energiatarpeen kattamiseksi maail-

manlaajuisesti 52 ydinvoimalaa on rakenteilla ja 30 maata harkitsee ydinvoimaa.

Myös World Nuclear Associationin pääjohtaja Sama Bilbao y León näki energian kysynnän kasvun ja ilmastonmuutoksen ratkaisuna ydinvoiman. Uudet hankkeet luovat samalla myös paljon liiketoimintaa, ja tulevaisuudessa erilaiset ydinenergiasonvellukset, kuten nollahiilivety, tuovat uusia mahdollisuuksia. Sama Bilbao y León nosti esiin myös SMR:ien koko ajan kasvavat markkinat sekä niiden edut suuriin voimalaitoksiin verrattuna.

Seuraavassa puheenvuorossa TEM:n teollisuusneuvos Liisa Heikinheimo esitteli Suomen ydinvoiman tuotantoon liittyviä resurssimääriä. Tällä hetkellä alalla työskentelee noin 4000 asiantuntijaa ja sen lisäksi mukana toiminnassa on välillisesti vielä moninkertainen määrä. Luvut ovat suuria pienelle maalle, mutta siitä huolimatta alan tietotaitoa on kehitettävä edelleen.

Framatomen myynnin ja alueellisen koordinoinnin johtaja Frédéric Lelièvre kertoi esityksessään, että toimitusketjujen tulee toiminnassaan erityisesti ottaa huomioon turvallisuus, kompetenssien kehittäminen ja standardisointi. ”Turvallisuus ensin” tuli esiin myös Rusatom Energy Internationalin varatoimitusjohtajan Anton Dedusenkon puheessa. Hän myös korosti uusien ydinvoimahankkeiden kuten kelluvien SMR:ien sekä Hanhikivi 1:n taloudellista merkitystä.

SMR-teema oli esillä myös session loppuosan esityksissä, joista ensimmäisessä TEM:n erityisasiantuntija Jaakko Louvanto kertoi, miten SMR:t uudentyyppisinä reaktoreina tuovat Suomelle uusia haasteita, kuten tekniikkaa, omistusta, ydinjätehuollon jär-

jestämistä, rahoitusta ja lisensointihaasteita. Työt näiden haasteiden ratkaisemiseksi on jo aloitettu.

Yksi näistä ratkaisusta on VTT:n Ydinenergia-tutkimusalueen johtajan Tommi Nymanin mukaan VTT:n kaukolämpöön suunniteltu SMR-ratkaisu. Lämmitysreaktorin etuina on muun muassa sen pienikokoisuus ja matala käyttölämpötila. Rolls-Roycen Civil Nuclear & SMR -asiakasliiketoiminnan johtaja Sophie Macfarlane-Smith toi myös esityksessään esiin sen, miten SMR:ien etuna on niiden toistettava tuotanto.

Session lopussa kuultiin LUT-yliopiston professori Juhani Hyvärisen moderoima SMR-paneelikeskustelu, jossa panelisteina olivat Christopher Nitta (NuScale Power), Timothy Check (GE Hitachi) ja Rich Everett (Rolls-Royce). Paneelikeskustelussa oltiin yhtä mieltä siitä, että SMR-tuotantomalli tarjoaa paljon liiketoimintamahdollisuuksia alihankkijoille.

Tapahtuman 2. päivä

Toisen päivän teemoina olivat uudet ydinvoimahankkeet, laitosten käytöstäpoisto sekä ydinjätehuolto. Päivän aloitti Puolan ilmasto- ja ympäristöministeriön ydinenergiaosaston pääasiantuntija Andrzej Sidło, joka kertoi esityksessään, miten Puolan tavoitteena on vähentää hiilen käyttöä energiantuotannossa, jotta se pääsee päästötavoitteisiinsa. Ratkaisuna tulevat olemaan uudet ydinvoimalaitokset, joista ensimmäisen ydinvoimalaitosyksikön rakennustöistä Puola pyrkii kattamaan itse vähintään 40 %.

Seuraavana kuultiin katsaus Ranskan ydinvoimatilanteesta. Pierre-Yves Cordier'n (ydinvoiman neuvonantaja, Ranskan suurlähetystö UK) mukaan Ranska aikoo sulkea kaikki hiilivoimalaitokset vuoteen 2022 mennessä ja lisätä ydinenergian osuutta energiantuotannossaan. Ranskassa on käynnissä useita hankkeita, kuten Jules Horowitz -reaktori, geologiset loppusijoitushankkeet ja Nuward SMR -kehitys. Ydinenergia on siten jatkossakin Ranskan energiantuotannon perusta, ja ranskalaisia EPR-reaktoreita on käytössä tai rakenteilla useassa maassa.

Uutena ydinvoimamaana kuultiin Viron puheenvuoro (Kalev Kallemets, toimitusjohtaja, Fermi Energia). Virolle on haastavaa tuleva Baltian maiden tavoite, jonka mukaan ne irrottautuvat Venäjän verkosta vuoteen 2025 mennessä ja liittyvät Puolan verkkoon. Lisäksi Viron energialaitokset aikovat lopettaa liuskeöljyn käytön ennen vuotta 2030. EU:n hiilineutraalisuustavoitteet ovat kovat ja niitä ei yksinkertaisesti voida saavuttaa vain uusiutu-

valla energialla, ja siksi Viro tarvitsee luotettavaa, hiilineutraalia ja halpaa energiaa, jonka ratkaisuna nähdään SMR:t.

Seuraavan session teemana oli ydinvoimalaitoksen käytöstäpoisto, jossa on tällä hetkellä ja tulevaisuudessa suuret maailmanlaajuiset markkinat. Ensimmäisenä esitelmän piti Westinghousen liiketoiminnan kehityspäällikkö Niklas Bergh, jonka mukaan tiivis yhteistyö asiakkaan kanssa on avain projektin onnistuneeseen toteuttamiseen. Westinghouse on toiminut käytöstäpoistomarkkinoilla jo pitkään, ja sillä onkin tällä hetkellä segmentointisopimuksia 13 eri reaktorista.

Seuraavaksi kuultiin puheenvuoro Ignalinan käytöstäpoistettavan laitoksen edustajalta (Andrius Vysniauskas), joka kertoi, että liityttyään EU:hun Liettua sulki Ignalinan ydinvoimalan ja tällä hetkellä laitoksessa on vielä joi-tain osia käytöstäpoistovaiheessa. Ignalinan ydinvoimalan purkamisen haasteena on RBMK-reaktorityyppi, jonka toimintaperiaate on täysin erilainen kuin painevesireaktorin. Lähiajan tavoitteina on teknisten laitteiden purkaminen, teknisen suunnittelun kehittäminen, turvallisuusanalyysiraportti ja muut lupakirja- ja tekniset asiakirjat, jotka liittyvät Ignalinan ydinvoimalaitoksen reaktorisydämien purkamiseen.

Klaus Fischer-Appelt (professori, RWTH Aachen Yliopisto) kertoi, että käytöstäpoisto on myös erittäin ajankohtainen aihe Saksassa, jos-

sa hallitus teki vuonna 2011 päätöksen kaikkien ydinvoimalaitosten nopeasta käytöstäpoistamisesta vuoden 2022 loppuun mennessä. Tällä hetkellä 6 alun perin noin 30 ydinvoimalasta on enää toiminnassa. Lisäksi voimalaitosalueilla on 13 väliaikaista jätetarastoa, joiden lupien voimassaolo päättyy vuosina 2034–2047.

Matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoituspaikka on Konradin kaivos, jossa loppusijoitustoiminnan on määrä alkaa vuonna 2022. Vastaavasti korkea-aktiivisten jätteiden sijoituspaikka valitaan vuonna 2031. Tulevat hankkeet ovat siten laajoja ja lähitulevaisuudessa asiantuntijoita tarvitaan paljon.

Session ja samalla konferenssiosuuden päätti ydinjätehuollon paneelikeskustelu, jonka moderaattorina minulla oli kunnia toimia. Suomalaisten yritysten edustajat Mika Pohjonen (Posiva Solutions), Eero Heikkinen (AFRY), Teemu Laurila (AINS) ja Tero Lytsy (Platom) keskustelivat rooleistaan ja ydinjätehuollosta saaduista kokemuksista.

Keskusteluissa korostettiin yritysten välisen yhteistyön merkitystä ja arvostusta suomalaista alan osaamista kohtaan. Tilaisuuteen osallistui myös ex tempore Ignalinan edustaja Andrius Vysniauskas, joka kehui Suomen olevan ydinjätehuollon edelläkävijä, ja kuinka he halusivat oppia meiltä lisää. Tämä saattaa siis poikia lisää yhteistyötä tulevaisuudessa Suomen ja Liettuan välillä.

Summa summarum ja jatkosuunnitelmat

Nordic Nuclear Forum 2021 oli kokonaisuudessaan tiivis tietopaketti maailman ydinvoimamahankkeiden tilanteista ja niihin liittyvistä liiketoimintamahdollisuuksista. Tilaisuutta varten tehtiin myös näytävä video, joka kertoo suomalaisesta ydinvoimaosaamisesta. Video on edelleen kaikkien käytettävissä ja löytyy youtubesta: <https://youtu.be/F8UhVch7xq8>.

Tapahtuma kokosi virtuaalisesta toteutustavasta, tai jopa sen ansiosta, runsaasti ihmisiä paikalle ympäri maailmaa. Kerätyn palautteen perusteella virtuaalisuudella on tulevaisuudessakin roolinsa, vaikka tapahtumien järjestelyissä siirrytään vähitellen takaisin kohti perinteisiä tapoja.

Myös sponsorit kokivat hyvänä käytäntönä, että he pääsivät esittelemään osaamistaan omiin, varsinaisen konferenssipäivän jälkeen pidettyihin teemasessioihin. B2B-tapaamisia sovittiin tilaisuudessa lähes 340, mikä kertoo myös aktiivisista asiakaskontaktoinneista.

Kiitoksia siis kaikille osallistujille ja kiitokset myös kaikille palautteen antajille; ne antavat taas uusia eväitä järjestää ensi kesäkuussa Nordic Nuclear Forum 2022, jonka suunnittelu on jo käynnissä kumppanien (Fennovoima, Fortum, TVO, Posiva, STUK International, VTT, ohjausryhmän pj: TEM) kanssa. Tervetuloa siis mukaan!



Suomalainen kaukolämpöreaktori

Kaukolämmöntuotanto on yksi Suomen oleellisimmista hiilidioksidipäästöjen tuottajista. Hiilineutraaliustavoite asettaa haasteita kaukolämmön tuotantoon sekä Suomessa että muualla Euroopassa. Yksi mahdollinen ratkaisu puhtaaseen lämmöntuotantoon on ydinkaukolämpö yksinomaan kaukolämmön tuotantoon omistautuneilla pienreaktoreilla.

Teksti: Silja Häkkinen

ECO-SMR-PROJEKTIN PUITTEISSA järjestettiin kesäkuussa 2021 webinaari aiheena suomalaiset kaukolämpöreaktorikonseptit: ”Status of district heating reactor design in Finland”. EcoSMR on Business Finlandin rahoittama kaksivuotinen projekti, jonka pyrkimyksenä on edistää suomalaisten yritysten liiketoimintamahdollisuuksia pienreaktoriaihepiirissä.

Projektin puitteissa tehdään teknillistaloudellisia selvityksiä, lisensointiin liittyvää tutkimusta sekä tarkastellaan liiketoimintamalleja ja ekosysteemin arvon muodostumista. EcoSMR:stä ja ekosysteemeistä oli artikkeli ATS Ydintekniikan numerossa 1/2021.

Kesäkuun webinaarissa esiteltiin Lappeenrannan-Lahden teknillisessä yliopistossa (LUT) ja VTT:llä kehitettäviä pienreaktorikonsepteja. Molempien reaktorien tarkoitus on lämmöntuotanto, joten niistä puuttuu kokonaan turbiini ja reaktorin paine voidaan pitää matalana verrattuna sähköntuotantoon tarkoitettuihin reaktoreihin.

LUT:n esityksen piti professori Juhani Hyvärinen ja VTT:n esityksen tutkimusprofessori Jaakko Leppänen. Esityskalvot ovat luettavissa EcoSMR:n internetsivuilla www.ecosmr.fi.

Pienreaktorien mahdollisuudet kaukolämpömarkkinoilla

Tällä hetkellä suomalaisista kotitalouksista noin 50 % kuuluu kaukolämpöverkkojen pi-

riin. Kaukolämpöverkkoja puolestaan on 166 kunnassa, kun kokonaisuudessaan Manner-Suomessa on 293 kuntaa ja Ahvenanmaalla 16. Muualla Euroopassa, etenkin Keski- ja Itä-Euroopassa, lämmöntuotannossa hyödynnetään myös paljon kaukolämpöverkkoja.

Toisin kuin sähkömarkkinat, lämpömarkkinat koostuvat lukuisista pienistä ja keskisuurista lämpöverkoista, joissa lämpö sekä tuotetaan että kulutetaan paikallisesti. Suomessa sähköntuotanto on tällä hetkellä jo hyvin pitkälti vähähiilistä. Sen sijaan lämmöntuotannossa hiiltä käytetään vielä merkittävästi erityisesti isommissa kaupungeissa.

Tällä hetkellä maailmalla ydinenergiaa käytetään pääasiassa sähköntuotantoon suurissa voimalaitoksissa, jotka sijaitsevat suhteellisen kaukana asutuksesta, ja joiden rakentamisessa on viime aikoina esiintynyt lukuisia haasteita. Toinen melko yleinen käyttökohde ovat pienet tutkimusreaktorit, joita on voitu sijoittaa jopa kaupunkien keskustoihin. Ydinenergian käyttö myös kaukolämmön tuotantoon ei kuitenkaan ole uusi ajatus, ja sähkön ja lämmön yhteistuotantoon niitä onkin jo käytetty useissa maissa.

Suomessa suunniteltiin 1970-luvulla 200 MWth reaktoria puhtaasti lämmöntuotantoon. Tällöin ydinenergia todettiin mahdolliseksi ja taloudellisesti kannattavaksi vaihtoehdoksi. Tästä huolimatta kivihien poltto lämmöntuotantoon valittiin kaukolämpöratkaisuksi ja ajatus ydinkaukolämmöstä haudattiin siltä erää.



TkT Silja Häkkinen

EcoSMR-hankkeen projektipäällikkö
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
silja.hakkinen@vtt.fi

Nyt hiilen käytöstä ollaan kuitenkin luopumas-
sa ilmastollisista syistä.

Maailmalla on kehitetty useita pienreaktori-
konsepteja erilaisiin käyttötarkoituksiin, myös
lämmöntuotantoon. Pisimmälle edenneitä
konsepteja ovat muun muassa puhtaasti läm-
möntuotantoon kehitetty kiinalainen DHR-400
(400 MWth) ja sähkön ja lämmön yhteistuot-
antoon soveltuva yhdysvaltalainen NuScale
(200 MWth).

Nämä kuten useimmat muutkin ulkomaai-
saiset konseptit ovat kuitenkin liian suuria
suomalaiseen kaukolämpöverkkoon, jossa yli
200 MWth kaukolämpöverkkoja on vain mur-
to-osa kaikista verkoista. Näiden syiden vuoksi
Suomessa on ryhdytty tekemään omaa kauko-
lämpöreaktoria LUT:ssa ja VTT:llä.

VTT:llä ja LUT:ssa kehitettävät kaukoläm-
pöreaktorit perustuvat olemassa olevaan hy-
vin tunnettuun kevytvesireaktoriteknologiaan.
Pyörää ei ole siis yritetty keksiä uudelleen,

vaan reaktorien suunnittelussa hyödynnetään
aiempaa kokemusta ja toimivaksi vuosikym-
menten saatossa osoittautunutta teknologiaa.

Polttoaineena suomalaisissa konsepteis-
sa käytetään tavallista UO₂-polttoainetta
isoja reaktoreita lyhyemmissä nipuissa.
Kaukolämpöverkon sisäntulolämpötila vaih-
telee välillä 65–120 °C. Tällaisen lämpötilan
tuottaminen kevytvesireaktorissa onnistuu hu-
mattavasti alemmilla paineilla kuin sähköntuo-
tantoon tarkoitetuissa reaktoreissa, mikä osal-
taan parantaa teknologian turvallisuutta.

Reaktorit suunnitellaan modulaarisiksi eli ne
voidaan valmistaa tehdasvalmisteisista osista
sarjatuotannolla, mikä pienentää kustannuk-
sia. Turvallisuusratkaisut perustuvat passiivi-
siin järjestelmiin kuten lämpökaivoihin. Kaikki
reaktorien osat polttoainetta lukuun ottamatta
voidaan valmistaa Suomessa, mikä mahdol-
listaa korkean kotimaisuusasteen. Uusimpien
tutkimusten mukaan kaukolämpöreaktorit ovat

myös taloudellisesti kilpailukykyisiä muihin
kaukolämmön tuotantomenetelmiin verrattuna.

Nykyiset säännöt mahdollistavat periaat-
teessa pienten modulaaristen kaukolämpöre-
aktorien rakentamisen Suomessa. Esimerkiksi
sarjavalmisteisuudesta saataisiin kuitenkin täysi
hyöty, jos pienreaktorien erityispiirteet huomi-
oidaan lisensointiprosessissa. Erilliset lisenssit
reaktoriteknologialle ja sijaintipaikalle helpottai-
sivat reaktorien rakentamista ja pienentäisivät
laitostoimittajan riskiä. Tällöin esimerkiksi re-
aktoriteknologia lisensoitaisiin vain kertaalleen
ei uudelleen joka kerta, kun uusi laitos nousisi
seuraavaan niemeen, notkoon tai saarelmaan.

Myös vastuunjakoon ja jätteenkäsittelyyn
liittyen uudistukset ovat todennäköisesti tar-
peellisia. Esimerkiksi jätteenkäsittelyn ulkois-
taminen jollekin kotimaiselle toimijalle helpot-
tisi pienten laitosten toimintaa oleellisesti,
kun jokaisella ei tarvitsisi olla omaa jätehuol-
to-ohjelmaansa.

LUTHER

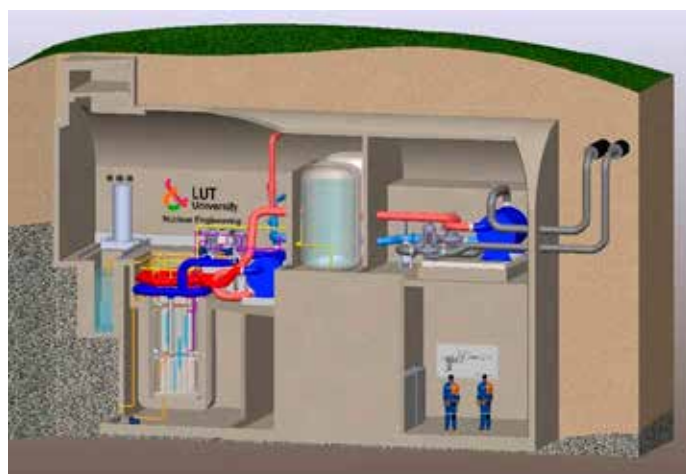
LUT:n kaukolämpöreaktori LUTHER (LUT
HEating Reactor) on kevytvesijäähdytteinen
paineputkireaktori, jonka kehitystyö alkoi syk-
sillä 2018. Yhden reaktorimoduulin lämpö-
teho on 24 MWth ja kaukolämpöverkkoon
syötettävä lämpötila 95 °C. Reaktorimoduulit
lämmönvaihtimieen sijoitetaan kokonaan
maan alle oheisen kuvan mukaan.

Ratkaisu eliminoi joitain ulkoisia uhkia,
kuten esimerkiksi lentokonetörmäyksen va-
ran. Samalla se toimii myös fyysisenä esteenä
mahdollisille säteilypäästöille ja passiivisena
lämpökaivona jälkilämmön poistoa varten.

Polttoaine on tavallista matalaväkevoityä
uraanioksidia ympyränmuotoisessa konfigu-
raatiossa. Aktiivinen pituus on isojen reaktori-
en polttoainetta lyhyempi. Polttoainepiput on
sijoitettu omiin paineputkiinsa kuusikulmion
muotoisessa reaktorisydämessä. Reaktorin re-
aktiivisuutta säädetään liikuteltavien polttoai-
nenippujen avulla, eikä erillisiä säätösauvoja
tai booria tarvita. Jäähdyte ja moderaattori on
hydraulisesti eristetty toisistaan jäähdytteen
virratessa paineputkien sisällä.

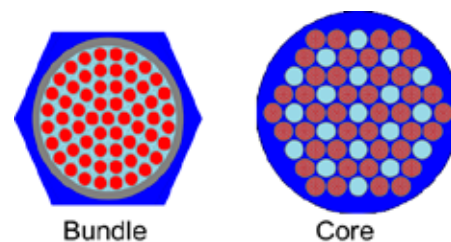
Reaktori on yhdistetty kaukolämpöverk-
koon primääripiiriin ja kaukolämpöverkon vä-
lissä olevan välipiiriin ja lämmönvaihtimien
avulla. Lämmönkierto normaalikäytön aikana
perustuu pumppuihin. Häiriötilanteessa läm-
mönkierto perustuu puolestaan passiivisiin
ratkaisuihin. Paineputkien veden kuumentu-
essa ja jäähdytteen alkaessa kiehua häiriö-
tilanteessa, höyry tiivistyy suojarakennuksen

*Havainnekuva
LUTHER-laitoksesta
sijoitettuna maan
alle (kuva: Kimmo
Tielinen, LUT).*



seinille ja lämpö johtuu sieltä ympäristöön.
Paineputkiratkaisu takaa suuren lämmönsiir-
topinta-alan, mikä parantaa osaltaan turval-
lisuutta.

Alhainen paine sekä säätösauvojen ja boo-
rin puute pienentävät materiaalikustannuksia.
LUTHER-konsepti on kilpailukykyinen, kun
kaukolämpöreaktori toimii peruskuorman läm-
mönlähteenä yhdeksän kuukautta vuodessa.
Tavoitteena on pitää investointikustannukset
alle 2000 €/kW ja käyttökustannukset alle 5,3
€/MWh.



*Kaaviokuva LUTHER:in sydäimestä ja poltto-
ainepipusta (kuva: Thinh Truong, LUT).*

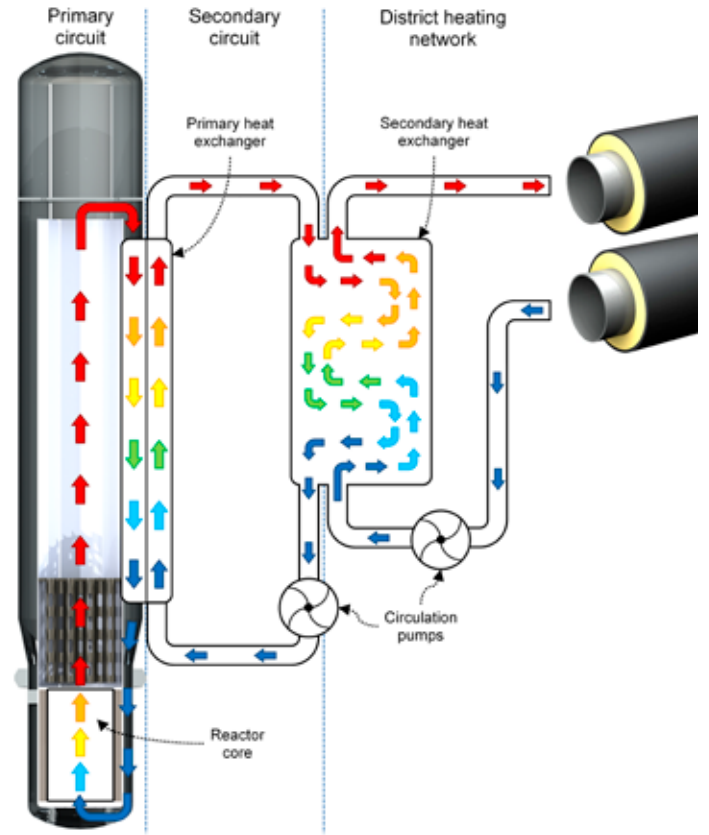
LDR

VTT:n kaukolämpöreaktoriprojekti aloitettiin helmikuussa 2020. Tässä vaiheessa reaktorilla ei vielä ollut virallista nimeä. Viralliseksi nimeksi päätettiin alkukesästä 2021 ”Low-temperature District Heating and Desalination Reactor (LDR)” ja nimi julkistettiin Nordic Nuclear Forumissa kesäkuussa 2021.

LDR-laitos koostuu yhdestä tai useammasta 50 MWth reaktorimoduulista, joka tuottaa maksimissaan 120 °C lämmintä vettä kaukolämpöverkkoon. Reaktori liitetään kaukolämpöverkkoon kahden lämmönvaihtimen avulla primääripiiriin ja kaukolämpöverkon välisellä välipiirillä oheisen kuvan mukaan. Reaktorin pääkomponentit on integroitu paineastian sisään.

Lämmönkierto LDR:ssä perustuu luonnonkiertoon, eikä erillisiä pumppuja tarvita. Reaktoriastia ympäröi suoja-astia, jonka pohjalla on vettä. Koko moduuli upotetaan vielä suureen lämpökaivona toimivaan vesialtaaseen. Normaalikäytössä reaktoriastian pohja pysyy alle 100 °C lämpötilassa ja on termisesti eristetty vesialtaasta. Jos lämmönsiirto sekundääripiiriin vaarantuu, suoja-astian pohjalla oleva vesi kuumenee ja alkaa kiehua. Höyry nousee ylöspäin ja tiivistyy suoja-astian seinille, josta lämpö johtuu tehokkaasti vesialtaaseen.

Reaktorisydämissä on 37 polttoainepipua, joiden aktiivinen korkeus on 100–135 cm. Polttoaineena käytetään joko 17x17 neoliöhilaisia PWR nippuja tai kuusikulmaisia VVER-1000/1200 nippuja. Tehotiheys ja polttoaineen palama tulevat olemaan huomatta-

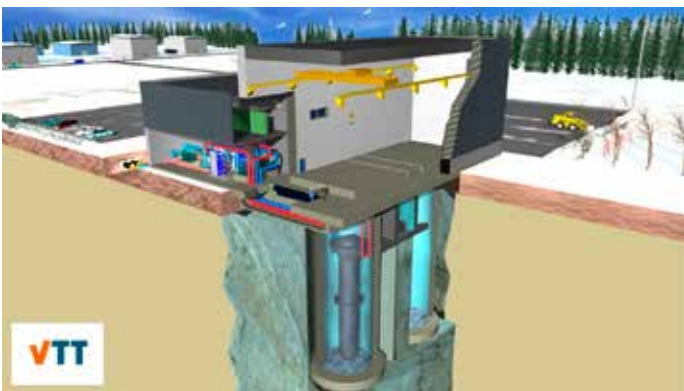


LDR-reaktorimoduuli ja liitos kaukolämpöverkkoon (kuva: Ville Hovi, VTT).

vasti pienempiä tavalliseen sähköntuotantoon käytettävään painevesireaktoriin verrattuna.

Latausjaksoksi suunnitellaan 2–3 vuotta olettaen noin 75 % käyttökerroin. LDR-reaktorimoduulin suunnittelu- ja turvallisuusanalyysit mallinnetaan VTT:llä kehitettävällä Kraken-laskentajärjestelmällä ja VTT:n ja Fortumin yhteistyönä kehitetyllä Apros-ohjelmistolla.

LDR-laitoksen sijainnille on tässä vaiheessa vielä useampi vaihtoehto. Harkinnassa on tavanomainen maan päälle sijoitettava laitos, maan alle LUTHER:in tapaan kaivettava laitos ja käytöstä poistettuun fossiilisen polttoaineen kuten kivihiiivoimalan tiloihin sovitettava laitos. Oheinen kuva havainnollistaa yhtä mahdollista laitosratkaisua, jossa reaktorimoduulit on sijoitettu maan alle.



Havainnekuva LDR-laitoksesta, jossa reaktorimoduulit on sijoitettu maan alle (kuva: AFRY).

Fuusioekosysteemille merkittävä rahoitus Business Finlandilta

BUSINESS FINLAND MYÖNSI fuusiotutkimuksen ympärille suunnitellun ekosysteemin [ATS Ydintekniikka 1/2021, s. 14–16] käynnistämiseen 3,9 miljoonan euron suuruisen tutkimusrahoituksen. Osa tutkimuksesta toteutetaan EUROfusion-tutkimusohjelman puitteissa, ja projektin kokonaisrahoitus on lähes 12 miljoonaa euroa kolmen vuoden ajalle. Tiivis yhteys kansainvälisen tutkimusohjelman keskeisimpiin toimintoihin on pitkällä aikavälillä olennainen tekijä suomalaisten yritysten liiketoiminnan tukemisessa. Samalla projekti hyötyy mahdollisuudesta käyttää EU-rahaa tutkimusprojekteissaan.

Tutkimusprojekti toteutetaan VTT:llä ja Helsingin yliopistossa. Yrityshankkeilleen rahoituksen saivat Comatec, EOS Finland, Luvata ja Platom. Ekosysteemiä koordinoi VTT, ja projekti jatkuu vuoteen 2024 saakka.

Projektissa muodostetaan laaja ja monialainen verkosto, jonka puitteissa osallistujayritysten olemassa olevia tuotteita, palveluita ja teknologioita suunnataan teollisen mittakaavan fuusioteknologian sovelluksiin sekä muille aloille, joilla on samankaltainen korkea vaatimustaso kuin fuusioenergian saralla. Tutkimusprojektissa ratkaistaan yritysten kanssa tunnistettuja kriittisiä kysymyksiä, jotta

yrityksille syntyy edellytykset luoda kansainvälisesti kilpailukykyisiä ratkaisuja.

Tarvelähtöisesti tunnistetut tutkimusaiheet ovat fuusiovoimalaitosten huolto ja elinkaaren hallinta, fuusioreaktorien uudet materiaaliratkaisut, fuusiovoimalaitosten kokonaisvaltaiset analyysit, tekoälyyn ja optimoituihin koodeihin perustuva suurteholaskenta, ydinjätehuolto ja luvitus sekä liiketoiminta ekosysteemin sisällä.

Lisätietoja: Antti Hakola, VTT



Suomalaisen Ydintekniikan Päivät 2022

1.–2.11.2022

Pääkaupunkiseudulla

Varaa aika kalenteriisi!

Pekka Jauho

YDINENERGIAN GLOBAALISEN KÄYTÖN TULEVAISUUS Joukkopsykologinen ongelma

Ydinenergian globaalisen käytön tulevaisuus

– Joukkopsykologinen ongelma

Teksti: Pekka Jauho

YDINENERGIAN TULEVAISUUTTA voidaan tarkastella vain perustamalla käyttöskenaariot ydintekniikan synnyn historiaan ja liittämällä se yleiseen globaaliseen kehitykseen sekä maailmanlaajuisen energijärjestelmien rakenteeseen. Tärkeimmät vaikuttavat tekijät ovat tällöin olleet kehityksen alkuvaiheiden yhteys ydinaseeseen, tieteellisen tutkimuksen ratkaiseva osuus ydinenergian syntyyn, energiahuoltoon liittyvät strategiset näkökohdat ja eri maiden paikalliset energiapoliittiset ratkaisut.

Ydinenergia syntyi asetuotannon sivutuotteenä ja aluksi erillisinä ideoina asekehittelijöiden aivoissa. Syntyyn vaikutti varmasti myös ydinaseen kehittäjien huono omatunto heidän työnsä onnistumisesta ja luodun aseensa valttavan tuhovoiman inhimillisestä dimensiosta.

Maailman energiatuotannon häiriintymättömyyden takaaminen kaikissa olosuhteissa ja kohtuuhintaisen energian saatavuus olivat ydintekniikan rauhanomaisen käytön jaloja tavoitteita, joilla nälkäänäkevät ja yhä väkirikkaammat kansat johdettaisiin paratiisiin. Tällainen messiaaninen ajatus tuli selvästi esiin ensimmäisessä YK:n järjestämässä Geneven ydinenergian rauhanomaista käyttöä käsitelleessä konferenssissa vuonna 1955, jossa selvä atomivoimaeuforia oli vallitseva ajattelumuoto.

Ydinenergia syntyi varsin erillään muusta energiantuotannosta. Heti ei tajuttu, mitä ehtoja sen tulee täyttää tullakseen osaksi energiantuotantojärjestelmää. Sen tuli olla toimintavarmaa, taloudellisesti kilpailukykyistä muiden energialähteiden kanssa. Se ei saanut johtaa



minen käyttäytyminen oli turvallisuutta heikentävää, sillä ne olivat syntyneet ydinaseiden leviämiseen ja sen tuli olla poliittisesti hyväksyttävää.

Öljykriisi vauhditti ydinenergiaohjelmia

Kysymys olikin usein olemassa olevan energiantuotantojärjestelmän heikkouksien poistamisesta ydinenergiaa soveltamalla. Erikoisesti liian suuri riippuvuus öljyn saannista koettiin ongelmaksi, koska öljyreservit ja kulutus jatkautuivat epätasaisesti maapallolla. Pelättiin, että öljyntuottajavaltiot voivat öljyllä kiristää itselleen liikaa valtaa ja poliittista painoa. Kivihiihen tuotanto oli myös työtaistelujen vuoksi usein uhattua. Ydinenergia tarjosi näihin ongelmiin ratkaisun.

Erikoisesti Suezin sota ja vuonna 1973 puhjennut energiakriisi pakottivat pikaisiin toimiin. Kaikissa teollistuneissa maissa ryhdyttiin toteuttamaan nopeutettuja kunnianhimoisia ydinenergian rakennusohjelmia. Jälkeenpäin voidaan todeta, että vain Ranska on kyennyt menestyksellisesti selviytymään tavoitteistaan itse suunnittelemillaan kevytvesireaktoreilla. Nopeiden reaktoreiden kehitystyössä sekin on kohdannut ylittämättömiä vaikeuksia. Kaikissa muissa maissa rakennussuunnitelmat toteutuvat vain osittain.

Todellisuus on ollut pettymys

Hyvin alkaneet rakennusohjelmat törmäsivät heti vaikeuksiin. Kaikki reaktorityypit olivat prototyyppisiä, ja ne edustivat liian monia teknillisiä ratkaisuja, joten sarjajalvaimistuksen eduista ei voitu nauttia. Laitokset toimivat myös osittain epäluotettavasti. Eräiden käytönotettujen tyyppien kohdalla reaktorin dynaaminen käyttäytyminen oli turvallisuutta heikentävää, sillä ne olivat syntyneet ilman suurempia modifikaatioita plutoniumin tuot-

Oheinen artikkeli on julkaistu ATS Ydintekniikan numerossa 3/1997.

Akateemikko Pekka Jauho (1923–2015) on maamme ydintekniikan uranuurtajia ja Atomiteknillisen Seuran perustaja- ja kunniajäseniä.

Muistokirjoitus on julkaistu ATS Ydintekniikan numerossa 1/2015.



Kehitysmaan voimalaitosvaihtoehdo.

toreaktoreista. Ne soveltuivatkin huonosti siiviliupuolelle energiantuotantoon.

Ei vain tekniikka vaan myös sen liittäminen muuhun energiantuotantojärjestelmään ontui. Lisäksi tapahtui kaksi vakavaa onnettomuutta, TMI ja Tshernobyl, joista jälkimmäinen on ihmiskunnan teollisuushistorian pahimpia. Aineelliset vauriot olivat niissä suuria, ihmisten henkien menetykset kumminkin siedettäviä. Nämä tapaukset tekivät voimantuottajat varovaisiksi, ja läntisissä teollisuusmaissa uusien laitosten rakentaminen hiipui. Kaukoidässä sen sijaan ydinenergian osuus sähköntuotannosta on jatkuvasti kasvanut.

Ydinenergia joutui myös maailmanlaajuisen ja taitavan vastustuskampanjan kohteeksi. Vastustajien julkisuuteen toimittama materiaali oli kumminkin usein väärää tai se sisälsi puolitotuusasia, joiden oikaiseminen osoittautui miltei mahdottomaksi medioiden ”tasapuolisen” julkistamispolitiikan vuoksi. Myös ydinvoimalaitosten rakentajat ja käyttäjät syyllistyivät virheisiin. Ei tajuttu yleisen mielipiteen keskeistä merkitystä koko toiminnalle.

Turvallisuusanalyysit, jotka perustuivat todennäköisyysmenetelmiin, olivat liian teoreettisia ja vaikeatajuisia yleisölle. Lisäksi niihin tieteenkin aina sisältyi todellisia tai kuviteltuja virheitä, joihin vedoten voitiin kumota kaikki rationaaliset argumentit. Niinpä käytetyn polttoaineen loppusijoitus muodostui suurimmaksi julkisuuden ongelmaksi, vaikka sen aikaansaamat riskit ovat selvästi monta kertalukua pienemmät kuin muun ydinenergiatoiminnan vaaratekijät.

Käyttökokemuksen karttuessa on nykyisten laitosten luotettavuus ja turvallisuus koko ajan parantunut. Jos nyt suunniteltaisiin kevytvesireaktori, olisi sen turvallisuus kertalukuja parempi kuin käytössä olevien tyyppien.

Voisi olettaa, että ydinenergian käyttö olisi yleisesti hyväksyttyä. Tämä edellyttäisi toki sitä, että laitos rakennetaan korkeimpien modernien turvallisuusvaatimusten mukaisesti, ja että sitä käytetään asiantuntevasti pätevien turvallisuusviranomaisten valvonnassa. Myös sijoitusmaan poliittisen rakenteen on oltava riittävän stabiili takaamaan pitkäaikaisen järkevän toiminnan.

Miksi ydinenergiaa tarvitaan myös tulevaisuudessa?

Ydinenergian tarpeellisuutta on mahdollista perustella hyvin voimakkaain rationaalisin argumentein. Tosiasia on, että koko ihmiskunnan tulevaisuus on häiriöttömän energiantuotannon varassa. Ilman energiaa joutuisimme suunnattoman kriisin ja nälänhädän kohteeksi. Ihmismäärä maapallolla on yksinkertaisesti niin suuri, ettei se voi tulla toimeen ilman liki nykyisen suuruista energiankulutusta.

Olemme siis joutuneet irreversiibelille polulle. Fossiilisia energialähteitä on kyllä riittävästi lähivuosisikymmeniksi. Niistä öljy on selvästi tärkein ja kriittisin, sillä se on keskeinen sekä energiantuotannolle, kemialliselle teollisuudelle ja myös liikenteelle. Öljy voidaan helposti korvata vain maakaasulla. Ongelmiksi muodostuvat USA:n omien öljy- ja kaasulähteiden ehtyminen, Pohjanmeren reservien väheneminen ja uusien suurien esiintymien puuttuminen. Parissa kymmenessä vuodessa ovat Eurooppa, Aasia, USA ja kehitysmaat suurelta osalta Lähi-idän suurien reservien varassa. On helppo kuvitella, mihin kriiseihin tällainen tilanne voi johtaa.

Kehitysmaiden kasvava väestö voi tyydyttää energiatarpeensa vain kivihiihellä ja öljyllä; kaasu- ja ydinenergia vaativat hyvin toimivaa

infrastruktuuria ja suuria pääomia. Vain teknillisesti kehittyneet maat voivat soveltaa turvallisesti ja taloudellisesti ydinenergiaa. Sen tulisi muodostaa näiden maiden huomattavan sähköenergian tuotantotavan. Voi myös sanoa, että tämä on rikkaiden maiden moraalinen velvollisuus ja keino tukea kehitysmaita niiden suunnattomissa vaikeuksissa.

Ydinenergiaa on puollettu myös ympäristösyillä. Voimalaitosten hiilidioksidi-, typpioksidi-, rikkioksidi- ja pölypäästöt muodostavat kasvavan terveys- ja ympäristöriskin. Näitä emisioita ei ydinenergialla sanottavasti ole. Mielestäni ydinenergian kumminkin tulisi olla jo rakenteeltaan riittävän ympäristöedullista, vaikka kasvihuoneilmiön vähentämistä ei otettaisikaan huomioon. Tämä siksi, että kasvihuoneilmiön todellinen luonne on vielä epäselvä, ja käytettyjen mallien tarkkuuden suhteen on viime aikoina esitetty painavia huomautuksia.

On siis punnittava ydinenergian päästöjä normaalitoiminnan aikana ja verrattava niitä fossiilisten energiantuotantomuotojen päästöihin. Vertaus on ydinenergialle suotuisa.

Jäljelle jäävät siis vain erikoistilanteet, onnettomuuksien ja eristeisten häiriöiden aiheuttamat päästöt. Tällöin palataan ongelmaan käytettyjen laskentamenetelmien ja kokeellisten mittausten luotettavuudesta ja uskottavuudesta. On pyrittävä löytämään reaktorikonstruktiot, joissa turvallisuus on mahdollisimman suurella määrällä passiivisten toimintojen varassa ilman, että tarvitaan ihmisen puuttumista asiaan. Uskon, että tämä tilanne on mahdollista saavuttaa nykyisten reaktoreiden käytöstä saadun kokemuksen perusteella.

Valitettavasti ydinenergian kohdalla eivät loogiset argumentoinnit ole riittäviä. Lopullinen ratkaisu demokratioissa tulee perustumaan yleiseen mielipiteeseen. Sen on oltava ydinenergialle riittävän myönteinen, jotta poliittinen päätös rakentamisesta olisi mahdollinen.

Tämä edellyttää tietenkin, että uusia suuronnettomuuksia ei enää tapahdu nyt toimivissa laitoksissa. Niiden toiminnan turvallisuuden parantamiseen on siis kiinnitettävä jatkuvaa huomiota ja mahdollisesti vähemmän turvalliseksi havaitut laitokset tulee sulkea. Laitosten sulkemiseen voidaan tarvittaessa vaikuttaa kansainvälisellä painostuksella ja taloudellisella tuella. Näin voidaan varmistaa ydinenergian uusi tuleminen myös sen synnyn kehtoihin, teollistuneisiin rikkaisiin maihin. Näin säästynyt öljy voidaan antaa kehitysmaiden käyttöön, ja samalla teollisuusmaat selviävät paremmin omista jo sovitusta päästörajoituksistaan.

Loppujen lopuksi, kaikesta loogisesta argumentoinnista huolimatta, ydinenergian tulevaisuus on viimekädessä joukkopsykologian hallitsemisen varassa. ☹️

Paul Scherrer Institut – ydinturvallisuus- tutkimusta Sveitsissä suomalaisten tekemänä

Sveitsin suurimmassa luonnontieteiden tutkimuslaitoksessa työskentelee monia suomalaisia eri aloilla ja eri tehtävissä. Tässä jutussa kerrotaan yleistietoa Paul Scherrer Institutista sekä esitellään siellä ydintekniikan alalla työskentelevien suomalaisten tutkimusta muutamain esimerkein.

Teksti: Terttaliisa Lind, Jarmo Kalilainen, Oskari Pakari, Markus Porthin

PAUL SCHERRER INSTITUT (PSI) kahden pikkukylän alueella Aargaun kantonissa Zürichin kupeessa on Sveitsin suurin insinööri- ja luonnontieteiden tutkimuslaitos. Tutkimusta tehdään kolmella pääalueella: aine ja materiaalit, energia ja ympäristö, sekä terveys. PSI:n erikoisosaamista ovat suuret kokeelliset tutkimuslaitteistot, joista tunnetuimmat lienevät SLS Swiss Light Source -synkrotroni sekä vasta valmistunut SwissFEL Free Electron X-Ray Laser, joita käytetään lähinnä materiaalien perustutkimukseen, mutta myös ydintekniikan materiaalien tutkimukseen.

PSI:ssä työskentelee noin 2100 tutkijaa, opiskelijaa, teknikkoo ja avustavaa henkilökuntaa 61 eri maasta. Tutkijoista noin 80 % on ulkomaalaisia. Sen lisäksi PSI:ssä vieraillee vuosittain yli 2500 tutkijaa (vuonna 2020 COVID-tilanteesta johtuen vain 1600), jotka tulevat sekä Sveitsistä että ulkomailta käyttämään kokeellisia tutkimuslaitteistoja.

PSI on perustettu vuonna 1988, jolloin Sveitsin valtion reaktoritutkimuslaitos (Das Eidgenössische Institut für Reaktorforschung EIR) ja ydintutkimuslaitos (Das Schweizerische Institut für Nuklearforschung SIN) yhdistettiin.

Toinen niistä sijaitsi Villigenin kunnassa Aarejoen länsirannalla ja toinen Würenlingenin kunnassa Aarejoen toisella puolella. Niinpä tänä päivänä PSI sijaitsee molempien kuntien alueella ja Aare virtaa tutkimuslaitoksen alueen läpi jakaen kampuksen PSI West:iin ja PSI Ost:iin.

PSI sai nimensä sveitsiläisen fyysikon Paul Scherrerin (1890–1969) mukaan, joka toimi monissa tehtävissä ollen muun muassa ETH Zürichin kokeellisen fysiikan professorina ja myöhemmin osaston johtajana. PSI:n virallisessa historiankirjoituksessa Paul Scherrerin vaikutus ydinvoimatekniikan parissa jää vähemmälle huomiolle kuin hänen saavutuksensa kiteisten aineiden analyysimenetelmien kehittämisessä.

Ydintekniikan tutkimus PSI:ssä

Ydintekniikan tutkimus PSI:ssä on keskittynyt joen itäpuolelle, jossa Ydinerogia ja turvallisuus -osastolla (Nuclear Energy and Safety, NES) työskentelee hieman yli 200 henkilöä kuudessa laboratoriossa. Vuosien varrella osastolla on työskennellyt suomalaisia kesätyöntekijöistä tutkijoihin ja ryhmänvetäjiin. Tällä hetkellä ydintekniikan aiheiden parissa työskentelee kolme suomalaista, joiden töistä voi lukea myöhemmin tässä samassa jutussa. Alla on esitelty kuusi ydintekniikan osaston laboratoriota.

Laboratory for Reactor Physics and Thermal-Hydraulics (LRT), jonka tutkimus keskittyy sveitsiläisten reaktorien turvallisuusanalyysiin ja siihen liittyvään menetelmien kehitykseen, sekä kansainvälisiin kokeellisiin tutkimusprojekteihin liittyen lähinnä onnettomuustilanteisiin. Yksi viime vuosien merkittävimpiä kokeellisia hankkeita on ollut PANDA-tutkimuslaitteistolla tehty suojarakennustutkimus. Työtä tehdään myös vakavien onnettomuuksien analysoinnissa, jossa viimeaikaiset hankkeet ovat liittyneet



TkT Terttaliisa Lind
dosentti, johtava tutkija
Laboratory of Reactor Physics and
Thermal-Hydraulics, PSI
terttaliisa.lind@psi.ch



TkT Jarmo Kalilainen
post-doc
Laboratory of Reactor Physics and
Thermal-Hydraulics, PSI
jarmo.kalilainen@gmail.com



PhD Oskari Pakari
post-doc
Dosimetry Group, PSI
oskari.pakari@psi.ch



paljolti Fukushima Daiichin ydinvoimalaonnettomuuteen. Näitä analyyseja on tehty lähinnä kansainvälisenä yhteistyönä OECD/NEA:n koordinoimissa tutkimushankkeissa, joissa Suomikin on ollut mukana STUKin ja VTT:n edustuksella.

Hot Laboratory (AHL), joka on alun perin rakennettu 50 vuotta sitten, on ainoa laboratorio Sveitsissä, jolla on valmiudet käsitellä ja analysoida korkea-aktiivisia aineita. Rakennuksia ja analyysimenetelmiä on pidetty ajan tasalla ja uudistettu jatkuvasti, joten tällä hetkellä laboratoriossa on 31 erillistä A-luokan



DI Markus Porthin
tutkija
Laboratory for Energy Systems
Analysis, PSI
markus.porthin@psi.ch

radioaktiivisten aineiden käsittelyyn sopivaa tilaa, 6 betonista kuumakammiota, 12 lyijytai muuten suojattua kuumakammiota sekä liuta hansikaskaappeja analyysilaitteille ja näytteiden käsittelyyn. Suurimmissa kuumakammioida voidaan käsitellä kokonaisia ydinvoimalaitosten polttoainesauvoja, mikä mahdollistaa monimuotoiset polttoainesauvojen analyysit. Lisäksi kuumakammioida voidaan valmistaa näytteitä analysoitavaksi PSI:n kokeellisilla laitteistoilla.

Laboratory of Nuclear Materials (LNM) käyttää tutkimuksessaan laajalti Hot Laboratoryn laitteita sekä PSI:n suuria kokeellisia tutkimuslaitteistoja. Tutkimusta tehdään sekä käytössä olevien laitteiden että tulevaisuuden ydinteknisten laitteiden tarpeisiin keskittyen materiaalien käyttäytymiseen ja vanhenemiseen. Erityishuomion kohteena ovat Sveitsissä käytössä olevien reaktorien turvallisuus ja pitkän ajan käytön turvaaminen.

Laboratory of Waste Management (LES), jonka tutkimus keskittyy geokemiaan sekä radioaktiivisten aineiden kulkeutumiseen savipitoisessa maassa. Radioaktiivisten aineiden loppusijoitusratkaisusta Sveitsissä vastaa Nagra (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle), joka on valtion ja ydinvoimayhtiöiden vuonna 1972 perustama yhteenliittymä. Sen tehtävänä on varas-

Ilmakuva PSI:stä. Edessä vasemmalla on entisen reaktoritutkimuskeskuksen alue ja oikealla ydintutkimuslaitoksen alue. Iso rakennus ihan kuvan vasemmassa alalaidassa on Zwiilag, joka on Sveitsin radioaktiivisen jätteen välivarasto (kuva: PSI).

toida radioaktiivinen jäte Sveitsissä siten, että siitä ei ole vaaraa ihmisille eikä ympäristölle. LES:ssä tehtävän perustutkimuksen lisäksi laboratorio tukee Nagraa sen tehtävässä Sveitsin radioaktiivisen jätteen loppusijoitusratkaisun löytymiseksi ja sen turvallisuuden takaamiseksi. Loppusijoitusratkaisu nojaa jätteen suojaamiseen monikerroksiseen loppusijoitussäiliöön ja säiliöiden hautaamiseen savipitoiseen maahan. Kolme sijoituspaikkaa on valittu loppusuoralle ja geologisesti sopivimman sijoituspaikan pitäisi olla selvillä vuoden 2022 paikkeilla.

Laboratory for Energy Systems Analysis (LEA) työskentelee ydinvoiman lisäksi muilla energiatekniikan aloilla uusiutuvasta energias- ta fossiiliin polttoaineisiin. Laboratorio tuottaa energiasysteemianalyseja energiapolitiikan tueksi ja tekee todennäköisyyspohjaisia turvallisuusanalyyseja (Probabilistic Safety



Assessment, PSA) pääosin ydinvoima-alan tarpeisiin keskittyen inhimilliseen luotettavuuteen. Tutkimustoiminnan lisäksi laboratorio tarjoaa teknistä tukea Sveitsin säteilyturvaviranomaiselle (ENSI).

Laboratory for Radiochemistry (LRC) on ehkä tutkimuskeskeisin osaston laboratorioista. Sen tutkimus kattaa suuren määrän radiokemian eri alueita raskaista alkuaineista ja niiden tuottamisesta harvinaisten alkuaineiden erottamiseen kiihdyttimien käytetyistä komponenteista, isotooppien erotukseen radiofarmasian tarpeisiin, sekä radionuklidien käyttäytymiseen nestemäisissä metalleissa. Tutkimus on hyvin perustutkimusluonteista ja akateeminen opetus on tärkeällä sijalla laboratorion toiminnassa.

Vakavien onnettomuuksien tutkimus

PSI on ollut vahvasti mukana vakavien ydinreaktorionnettomuuksien tutkimuksessa 1980-luvulta lähtien, ollen mukana Three Mile Island -onnettomuuden analysoinnissa, jodikemiamallien kehityksessä ja myöhemmin myös kokeellisessa vakavien onnettomuuksien tutkimuksessa. Etenkin lähdetermin, eli radioaktiivisten aineiden vapautumiseen polttoaineesta, kulkeutumiseen reaktorista suojarakennukseen ja lopulta ympäristöön, tutkimukseen on panostettu PSI:ssä pitkään sekä mallien kehityksessä että kokeellisessa toiminnassa.

Viimeisimmät suuret kokeelliset tutkimushankkeet ovat käsitelleet aerosolien kulkeutumista höyrykehittämissä putken rikkoutu-

misen jälkeen ja aerosolien ja kaasumaisten jodiyhdisteiden pidättymistä suojarakennussuodattimissa. Näissä aiheissa kansainvälinen yhteistyö tutkimuslaitosten, säteilyvalvontaviranomaisten ja yritysten kanssa on merkittävässä osassa.

Vuoden 2011 Fukushima Daiichi -onnettomuuden jälkeen suuri osa analyyseista on keskittynyt kuvaamaan sitä, mitä voimalaitoksella tapahtui ensimmäisinä viikkoina maanjäristyksen ja sitä seuranneen tsunamin jälkeen. Analyyseilla on myös pyritty selvittämään, mikä kolmen tuhoutuneen reaktorin tila on tällä hetkellä. Tätä tietoa tarvitaan vakavien onnettomuuksien analysointimallien kehittämisessä, mutta myös siihen, kun TEPCO (Tokyo Electric Power Company, joka omistaa Fukushima Daiichin voimalan) yhdessä muiden japanilaisten yritysten kanssa valmistautuu vaurioituneen polttoaineen poistamiseen reaktoreista ja niiden suojarakennuksista.

Fukushima Daiichin onnettomuuden lisäksi viime aikoina vakavien onnettomuuksien tutkimus on suuntautunut GenIV-reaktoreihin, joista ollaan mallinnettu korkealämpötilan kuulakekoreaktorien onnettomuuksia ja mahdollista sydämen ylikuumenemista, sekä sulasuolareaktorin onnettomuudessa vapautuvia fissiotuotteita ja muita radioaktiivisia aineita. Viimeksi mainittuun tutkimukseen on käytetty PSI:ssä kehitettyä menetelmää, jossa termodynaaminen mallinnus on yhdistetty vakavien onnettomuuksien analysoinnissa käytettyyn MELCOR-koodiin täydentämään MELCORin puuttuvia ominaisuuksia kemiallisten reaktioiden mallinnuksessa.

Vakavien onnettomuuksien tutkimusryhmän teknikot asentamassa suojarakennussuodattimen tutkimukseen käytettävää laitteistoa. Käytössä laitteisto on pystyasennossa ja ulottuu neljäkerroksisen rakennuksen lattiasta kattoon asti (kuva: PSI).

Kaasumaisen jodin vapautuminen kontaminoituneesta vedestä Fukushimaa

Yksi esimerkki viimeaikaisesta tutkimuksesta on kaasumaisen jodin vapautuminen ympäristöön Fukushima Daiichin -onnettomuuden aikana. Onnettomuusanalyysit ja aktiivisuus- ja annosnopeusmittaukset ympäristössä ovat näyttäneet, että merkittävä määrä jodia, eri arvioiden mukaan 100–400 PBq jodin isotooppia I-131, vapautui onnettomuuslaitokselta maaliskuun 2011 aikana.

Osa vapautuneesta jodista oli sitoutuneena aerosolihiukkasiin, mutta mittausten perusteella jopa yli 50 % jodista olisi vapautunut kaasumaisessa muodossa. Tutkiaksemme tämän kaasumaisen jodin vapautumismekanismeja käytimme erillistä jodikemian mallinnusohjelmaa IMPAIR, jolla pystyimme laskemaan jodin pitoisuuksia suojarakennuksessa olevassa vedessä, rakennuksen seinillä ja kaasufaasissa.

Koska huolimatta vuosikymmenien tutkimustyöstä jodikemiamallit sisältävät paljon epävarmuuksia, käytimme epävarmuusanalyysimenetelmiä yhdistettynä kemiamalliin. Tällä tavoin pystyimme ottamaan huomioon sen, että esimerkiksi mallien sisältämät reaktiivakiot eivät ole tarkkaan tunnettuja, eikä onnettomuuden ajalta ole luotettavaa mittaustietoa kaikille tarvittaville jodin käyttäytymiseen vaikuttaville tekijöille. Esimerkiksi annosnopeutta suojarakennuksessa, jodin määrää vedessä ja veden pH-arvoa muutettiin siten, että mittaustulosten puuttuessa näiden tekijöiden arvioitu vaihteluväli voitiin kattaa analyyseissa.

Analyyseiden mukaan, aivan kuten aktiivisuusmittaukset ympäristöstä olivat näyttäneet, on todellakin luultavaa, että merkittävä määrä radioaktiivista jodia vapautui onnettomuuden aikana ympäristöön kaasufaasin yhdisteinä. Nämä yhdisteet olivat käyttämässämme mallissa alkuainejodi I₂ ja orgaaninen metyylijodidi CH₃I.

On luultavaa, että muitakin orgaanisia jodiyhdisteitä vapautui ympäristöön, mutta niitä emme luotettavien reaktiivien puuttuessa sisällyttäneet analyyssiimme. Kaasumaiset jodiyhdisteet vapautuivat kontaminoitunees-

ta jäähdytysvedestä, jota etenkin yksikössä 3 oli suuret määrät sekä lauhdutusaltaassa että myöhemmin onnettomuuden aikana myös suojarakennuksen kuivatilassa.

Jatkotutkimuksen aihe ovat suojarakennuksen ulkopuoliset rakennukset, joiden on myös arvioitu sisältäneen merkittäviä määriä kontaminoitunutta vettä ja sen mukana jodia. Japanilaisten arvioiden mukaan yksikön 3 jodista noin 25 % olisi ollut kontaminoituneessa vedessä suojarakennuksen ulkopuolisissa rakennuksissa maaliskuun lopussa 2011. Yksikössä 2 tämä luku olisi ollut jopa 74 %. Jodia on voinut vapautua tästä suojarakennuksen ulkopuolisesta vedestä vielä silloinkin, kun radioaktiiviset päästöt reaktoreista olivat lakanneet sen ansiosta, että TEPCO onnistui asentamaan pysyvän jäähdytysveden syötön reaktoreihin maaliskuun 2011 loppuun mennessä.

Onnettomuuden kulkua pahentavien operaattoritoimenpiteiden analysointi

Perinteisesti ydinvoimalaitosten todennäköisyyspohjaisissa turvallisuusanalyysissä käsitellään inhimillistä luotettavuutta puuttuvina tai vajavaisesti suoritettuina toimenpiteinä, mutta onnettomuuskenaarioiden kulkua pahentavat toimenpiteet jäävät yleensä sopivien analyysimenetelmien puuttuessa huomioimatta. PSI on kehittänyt menetelmän näiden Errors of Commission -virheiden (EOCs) kartoittamiseen sekä niiden seurausten ja todennäköisyyksien arviointiin.

Commission Errors Search and Assessment -menetelmässä (CESA) kartoitetaan operaattoreiden hätätilanneohjeissa esiintyvät toimenpiteet, esimerkiksi tietyn laitteen avaaminen tai sulkeminen ja käynnistäminen tai pysäyt-

täminen, ja selvitetään, minkälaisen toimintojen ja järjestelmien vikaantumiseen ne voivat väärässä tilanteessa johtaa. Mahdolliset EOC-virheet asetetaan tärkeysjärjestykseen riskimittojen avulla ja tärkeimmät skenaariot analysoidaan tarkemmin ja kvantifioidaan. Menetelmää on sovellettu Sveitsin ydinvoimalaitoksissa ja sillä on tunnistettu mahdollisia EOC-operaattorivirheitä, joiden riskikontribuutio on samaa luokkaa kuin riskimalleihin sisällytetyillä toimenpidevirheillä.

Simulaattoriharjoitusten hyödyntäminen operaattorivirheiden todennäköisyyksien arvioinnissa

Ydinvoimalaitosten operaattoreiden toimenpidevirheiden todennäköisyyksien arvioinnissa on onnettomuusdatan vähäisyyden takia turvauduttu muilta aloilta kerättyyn dataan ja asiantuntija-arvioihin. Valvosimulaattoriharjoitukset tarjoavat kuitenkin arvokkaan lisädatan lähteen, jota hyödynnetään analyysissä enenevissä määrin. Koska operaattoritoimenpiteet ovat tyypillisesti verrattain luotettavia ja simulaattoriharjoitusten havaintomäärät pieniä, pelkkien operaattorivirheiden laskenta ei riitä todennäköisyyksien luotettavaan estimointiin.

Yhdistämällä dataa eri lähteistä saadaan suurempia havaintoaineistoja. Havainnot eivät kuitenkaan ole täysin vertailukelpoisia keskenään, joten ei voida olettaa niiden olevan peräisin samasta todennäköisyysjakaumasta. PSI on kehittänyt hierarkkisia Bayes-malleja datan yhdistämiseen, joissa vaihtelu havaintojoukon sisällä huomioidaan ja siten saavutetaan todellista epävarmuutta paremmin kuvaavia todennäköisyysjakaumaestimaatteja.

PSI tutkii myös menetelmiä tarkemman,

suoritusastoa kuvaavan datan hyödyntämiseen laitoskohtaisten virhetodennäköisyyksien arvioinnissa. Tavoitteena on, että tarkastelemalla operaattoreiden toiminnan eri osa-alueiden suoritusastoa, kuten havaitseminen, tiedon tulkinta, päätöksenteko, toimeenpano ja kommunikaatio, työskentelystä saadaan tarkempaa tietoa, jonka avulla pystytään tekemään parempia virhetodennäköisyysestimaatteja.

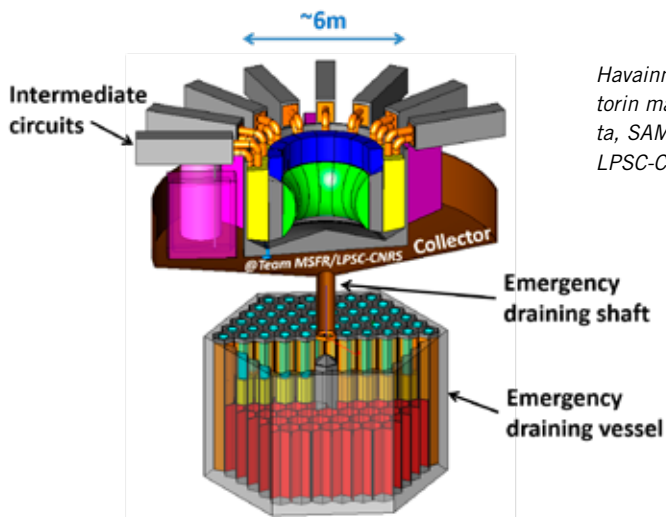
PSI:n dosimetrialaboratorion tutkimuskohteita

Dosimetrialaboratorio ei kuulu Ydintekniikan tutkimusosastoon, mutta siellä tehdään myös alaan liittyvää tutkimusta, joten siksi se on otettu osaksi tätä juttua. Laboratoriossa tutkitaan henkilökohtaisen annosmittauksen parhaita käytäntöjä. Viime aikoina on keskitytty tutkimaan materiaaleja, jotka soveltuvat hätätilanteiden dosimetriaan.

Tilanteissa, joissa vapautuu radioaktiivisia aineita ympäristöön, esimerkiksi lähellä asutusta tapahtuvissa ydinräjähdyksissä tai vakavissa reaktorionnettomuuksissa, altistuu suuri määrä henkilöitä, jotka saattavat nopeasti ylikuormittaa paikallisen sairaanhoidon kapasiteetin. Säteilyannosten luokittelua voidaan helpottaa käyttämällä apuna niin kutsuttuja satunnaisannosmittareita, joilla käsitetään materiaaleja tai esineitä, joita säteilylle altistuneilla henkilöillä on todennäköisesti mukanaan altistumisen aikana.

Esimerkkinä näistä esineistä voidaan mainita vaikkapa älypuhelimien lasi tai virtapiiri, joka voidaan lukea termoluminesenssimenetelmällä saadun annoksen arvioimiseksi. PSI:ssä on viime aikoina tutkittu tällaisten ja muiden materiaalien, kuten polymeerimuovien, soveltuvuutta annosmittaukseen. Tutkimuksissa on esimerkiksi havaittu, että tavallisilla kirurgisilla suun- ja suojilla, jotka ovat yleisesti käytössä meneillään olevan pandemian vuoksi, on termoluminesenssivaste, joka täyttää hätäannosmittauksen vaatimukset.

Toinen tutkimuksen painopistealue on protonihoidon laadunvarmistuksessa ja -parantamisessa. Parhaillaan kehitetään uusia menetelmiä sekä säteilyannoksen että tärkeän toiminnallisen suureen, lineaarisen energiansiirron mittaamiseksi passiivisten ilmaisimien avulla. Lineaarinen energiansiirto mittaa protonisäteiden paikallista ionisaatiotiheyttä ja vaikuttaa siten suoraan energian alueelliseen jakautumiseen ja biologiseen tehokkuuteen. Kun mitataan sekä annosta että lineaarista energiansiirtoa, nämä tiedot yhdessä auttavat parantamaan säteilytyksen kokonaistarkkuutta ja siten myös hoitotuloksia.



Havainnekuva sulasuolareaktorin mahdollisesta rakenteesta, SAMOSAFER-projekti (kuva: LPSC-CNRS-France).

Näin synnytettiin Suomen ensimmäinen käytöstäpoistolupa

Valtioneuvosto myönsi 17.6.2021 VTT:lle luvan Otaniemen tutkimusreaktorin käytöstä poistamiseen. Tutkimusreaktori auttoi vivahteikkaan 53-vuotisen käyttöhistoriansa aikana mm. kuukivien tutkimuksessa, kullan etsinnässä, syöpähoidoissa ja ennen kaikkea toimi keskeisenä ydinenergian koulutus- ja tutkimustyön laitoksena. Nyt se toimii pilottina vielä purkuvaiheessaankin valmistuen suomalaisia ydinenergia-alan yhtiöitä ja viranomaisia myöhemmin tulevaisuudessa alkavaan ydinvoimalaitosten reaktorien käytöstäpoistoon.

Teksti: Markus Airila

L EHDEN NUMEROSSA 2/2015 kerrottiin FIR 1:n käytön lopettamisesta ja käytöstäpoiston aloituksesta sekä muisteltiin värikkäästi reaktorilla aikojen saatossa tehtyjä töitä. Tässä yhteydessä kertaamme viime vuosikymmenen tapahtumat pikakelauksella ja keskitymme varsinaisesti taustoittamaan tuoretta käytöstäpoistolupaa.

Sammutuspäätöksestä 2012 STUKin turvallisuusarvioon 2019

VTT:n päätöksestä lopettaa FIR 1 -reaktorin käyttö tuli kesällä kuluneeksi yhdeksän vuotta.



TKT Markus Airila

Erikoistutkija, projektipäällikkö
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
markus.airila@vtt.fi

Lopetuspäätöksen jälkeen vuosina 2013–15 käytöstäpoistolle tehtiin ympäristövaikutusten arviointi, jonka päätyttyä VTT käynnisti varsinaisen käytöstäpoistoprojektin, siirsi reaktorin pysyvään sammutustilaan kesäkuussa 2015 ja teki sydämen pysyvästi alikriittiseksi joulukuussa 2015. Tämän jälkeen suomalaiset tekniikan yliopistot ovat siirtyneet tekemään oppilastöitä ulkomaisille tutkimusreaktoreille, ja BNCT-hoidot puolestaan jatkuvat pian Meilahteen valmistuvalla HUS:n uudella kiihdytinpohjaisella hoitoasemalla [1].

Projektin ensimmäinen konkreettinen tavoite oli ydinenergiain mukaisen luvan hankkiminen käytöstäpoistoa varten. Valtioneuvostolle kesäkuussa 2017 jättämämme lupahakemukseen liittyy suhteellisen mittava tausta-aineisto (ks. ydinenergia-asetus 34 § ja 36 §), jonka STUK on teknisiltä osiltaan tarkastanut. Hakemus varsinaisine liitteineen on luettavissa työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) verkkosivuilla [2].

Hakemuskokonaisuudessa täysin uutta oli käytöstäpoistosuunnitelma, joka pohjautuu erityisesti saksalaisen Bilfinger-konserniin kuuluvan Babcock Noell GmbH:n laatimaan purkusuunnitelmaan, VTT:n toteuttamaan reaktorin rakenteiden nukliidi-inventaarien yksityiskohtaiseen laskennalliseen määrittelyyn sekä lukuisiin erillisiin turvallisuusanalyysiin. Lisäksi kaikki reaktorin laitosdokumentaatio, mm. laadunvarmistus, organisaatio ja turvalli-

suusseloste, päivitettiin vastaamaan käytöstäpoistovaiheen vaatimuksia. STUK antoi lupahakemuksesta lausuntonsa ja käytöstäpoiston turvallisuusarvion huhtikuussa 2019 [3].

Luvan myöntämisen edellytykset: 2 x 50% < 100%

Lupahakemuksen neljän vuoden käsittelyaika kuulostanee monen korvaan pitkältä ottaen huomioon, että kyseessä on pienen ja käyttöturvallisen ydinlaitoksen purku, josta syntyy suhteellisen vähäisiä ydinjättemääriä. Syy ei kuitenkaan ole viranomaiskäsittelyn hitaudessa. Ydinenergiain mukaan luvan myöntäminen edellyttää, että hakijan käytettävissä olevat menetelmät ydinjätehuollon järjestämiseksi, ydinjätteiden loppusijoitus ja ydinlaitoksen käytöstä poistaminen siihen mukaan luettuna, ovat *riittävät ja asianmukaiset*. Käytännössä VTT:n hakemus tuli ensimmäistä kertaa täysin käsittelyvalmiiksi vasta keväällä 2020, kun täydensimme tietoja hankkeeseen liittyvien ydinjätehuollon sopimusten tilanteesta TEM:lle lähettämällämme kirjeellä.

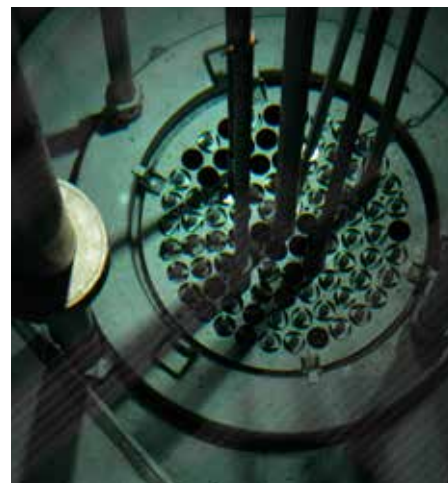
Nuo *riittävät ja asianmukaiset* menetelmät täytyy järjestää olennaisesti kolmelle osa-alueelle: (i) Reaktorin purkaminen ja kaikki siihen liittyvät laitosalueella tehtävät järjestelyt; (ii) Käytetystä ydinpoltoaineesta huolehtiminen; (iii) Käytön ja käytöstäpoiston seurauksena syntyvistä matala- ja keskiaktiivisista purku- ja käyttöjätteistä huolehtiminen. VTT:n lähtökohdaksi on ollut se, että hankimme kaikkiin kyseisiin vaiheisiin ulkopuolisia palveluita, sillä teollinen purkutyö ja ydinjätehuollon käytännön toteutus eivät kuulu tutkimuslaitoksen ydintoimintaan.

Lupahakemuksen jättämisen hetkellä VTT:n esittämiin ydinjätehuollon ratkaisuihin liittyi liiallisia epävarmuuksia ajatellen sitä, että projektia olisi voitu lähteä määrätietoisesti toteuttamaan niiden varassa. Kuten todennäköisyyslaskennassa yleisesti, tässäkin kaksi erillistä vaikkapa 50%:n varmuudella toteutuvaa ratkaisua eivät yhdessä riitä antamaan täyttä varmuutta jommankumman toteutumisesta.

VTT:n tarvitseman matala- ja keskiaktiivisen ydinjätteen huollon osalta olennaiset epävarmuudet liittyivät siihen, että laaditut sopimukset olivat luonteeltaan periaatesopimuksia tai esisopimuksia, ilman että kaikista olennaisista ehdoista olisi sovittu sitovasti. Käytetyn polttoaineen osalta epävarmuutta loi erityisesti se, että ulkomaisten tutkimusreaktorien polttoainepalautukset Yhdysvaltoihin ovat olleet pysähdyksissä ja palautusohjelman aikaikkuna oli uhkaavasti sulkeutumassa. Näin luvan myöntämisen edellytykset eivät täytyneet ennen seuraavassa kuvatussa kattavan ja sitovan käytöstäpoiston palvelusopimuksen syntymistä.



Reaktorin ohjaaja Jori Helin ohjauspöydän ääressä reaktorin viimeisenä käyttöpäivänä 30.6.2015. Saman vuoden lopussa sydäimestä poistettiin niin paljon polttoaine-elementtejä, että reaktori tuli pysyvästi alikriittiseksi (kuvat: VTT).



Ydinjätehuoltoa shoppailemassa

VTT:n tarvitsemista palveluista reaktorin laitos-alueella tapahtuva purkutyö olisi tarjonnan puolesta helpoin hankkia omana kokonaisuutenaan, sillä kansainvälistä kokemusta ydinvoimalaitosten ja muiden ydinlaitosten purkamisesta on hyvin tarjolla. Alan yrityksiä ja konsortioita on paljon, ja meille on syntynyt vahva käsitys, että kiinnostus Suomessa toteutettavaa projektia kohtaan olisi muuallakin Euroopassa melko kova.

Aiemmin purkusuunnittelun kilpailutusvaiheessa vuonna 2016 saimme lukuisia hyviä tarjouksia ja lopulta Babcock Noell GmbH:lta laadukkaan suunnitelman lähes tarkalleen aikataulussa ja budjetin puitteissa. Eli ostajan tilanne tuntui hyvältä. Varmaankin täältä Pohjolan perukoilta hankittuja referenssejä arvostetaan maailmalla, sillä suomalainen ydinenergia-alan valvonta tunnetaan perusteelliseksi, jolloin menestyksellisesti toteutettu projekti on yritykselle todistus vankasta laadusta. Tutkimusreaktorin purkusuunnittelu ja itse purkukin ovat kuitenkin myös projekteina suhteellisen vähäriskisiä ja siksi houkuttelevia.

Päädymme kuitenkin hankkimaan palveluita suurempana kokonaisuutena – eli noukimme sekä purkutyön että tarvitsemamme ydinjätehuollon palvelut samaan ostoskoriin.

Kyseessä ei ollut heräteostos, vaan taustalla vaikutti se, että ydinjätehuoltoon liittyvien palveluiden tarjonta on maantieteellisesti paljon rajatumpaa kuin purkupalveluiden tarjonta. Meillä toki on ollut ydinenergia-alaissa olevan poikkeuksen nojalla mahdollisuus palauttaa

Käytetyn polttoaineen tilavuuden havainnollistamiseksi 103 perinteisen suomalaisen tulisijan "polttoaine-elementtiä" on aseteltu kottikärryihin. Kooltaan palikat vastaavat TRIGA-polttoainetta (kuva: VTT).

tutkimusreaktorin käytetty ydinpolttoaine alkuperämaahansa Yhdysvaltoihin, mutta muilta osin ydinjätteiden vienti pysyvästi maasta ei ole mahdollista. Niinpä kartoitimme suomalaisten ydinvoimayhtiöiden mahdollisuudet tarjota palveluna ydinjätteiden vastaanottoa.

VTT:n päätös laajasta hankintakokonaisuudesta kypsyi molempien voimayhtiöiden kanssa käytyjen kahdenvälisen tunnustelujen perusteella. Itse hankinta toteutettiin käyttäen hankintalain mukaista neuvottelumenettelyä samaan tapaan kuin Suomen uusia torjuntahävittäjiä ollaan tällä hetkellä hankkimassa. Menettely antaa sekä ostajalle että myyjälle mahdollisuuden saada runsaasti haluamaansa lisätietoa ennen lopullista tarjouskierrosta, mikä on olennaisen tärkeää hankinnan kohteen ollessa monimutkainen, tiukan lainsäädännön alainen ja vaikeasti rajattava esimerkiksi vastuiden osalta.

Nyt voidaan todeta, että hankintakokonaisuuden muotoilu onnistui hyvin, sillä teimme keväällä 2020 Fortumin kanssa erinomaisen



sopimuksen, joka eliminoi valtaosan projektiamme pitkään varjostaneista epävarmuuksista. Kumppanuus ulottuu kaikille edellä mainituille osa-alueille. Se kattaa kokonaisuudessaan sekä purkutyön että käyttö- ja käytöstäpoistojätteiden vastaanoton, ja lisäksi sovittiin käytetyn ydinpolttoaineen välivarastoinnista tarvittaessa, jotta purkaminen päästään aloittamaan suunnitellusti. Samalla sopimuksella on järjestetty kokonaisuudessaan myös OK3-laboratorion radioaktiivisten käytöstäpoistojätteiden huolto. Laboratorion käytöstäpoistosta on kerrottu tarkemmin lehden numerossa 2/2020.

Huhtikuussa 2020 VTT totesiikin jo ministeriön suuntaan, että käytöstäpoiston palvelusopimus täyttää VTT:n ydinjätehuollon tarpeet lukuun ottamatta käytetyn ydinpolttoaineen pysyvää luovutusta tai loppusijoitusta. Ydinvoimalaitoksen luvanhaltijana Fortumilla on sopimusvelvoitteidensa hoitamiseksi riittävä asiantuntemus ja toimintajärjestelmä, joten VTT katsoi käytettävissään olevien menetelmien reaktorin käytöstä poistamiseksi, muu ydinjätehuolto mukaan luettuna, parantuneen merkittävästi ja olevan riittävät ja asianmukaiset.

Jack Edlowin ilmaveivillä jatkoajalle

Ensimmäinen versio tästä artikkelistakin oli käytännössä julkaisuvalmiina lehden numeroon 2/2020. Kesällä 2020 käynnistyi kuitenkin hankkeelle tärkeä tapahtumasarja, jonka loppuun vieminen katsottiin TEM:ssä ja VTT:llä tarkoituksenmukaiseksi ennen lopullista lupakäsittelyä.

Ydinpolttoaineasioissa VTT:n yhdysvaltalaisena konsulttina toimineen Edlow International Companyn erittäin kokenut ja verkostoitunut toimitusjohtaja Jack Edlow ehdotti yllättäen viime heinäkuussa, että VTT tarjoaisi käytettyä polttoainetta jatkokäyttöön Yhdysvaltain geologiselle tutkimuskeskukselle (USGS). Ajatus tuntui aluksi korkealentoiselta, mutta aloimme heti selvittää



Pacific Nuclear Transport Limited -varustamon INF3-luokan alus Pacific Grebe kuljetti FIR 1:n käytetyn polttoaineen Suomesta Yhdysvaltoihin: kottikärryllisen pakattuna 22 tonnia painavaan kuljetuspakkaukseen, yksinkuljetuksena (kuva: PNTL).

avoimia kysymyksiä, ja palaset lokahtelivat kuin lokahtelivatkin yksi toisensa jälkeen paikoilleen. Näin päästiin etenemään kohti sopimuksia ja vaadittavien lupien hankkimista.

VTT, USGS ja Edlow sopivat luovutuksen ehtoista ja kuljetusjärjestelyistä. Fortum tuki VTT:tä operaation toteutuksessa. STUK tarkasti VTT:n suunnitelmat sekä valvoi polttoaineen siirron Otaniemessä ja kuljetuksen satamaan sekä hoiti viranomaisyhteyksiä, mm. vientilupa-asiaa, U.S. Nuclear Regulatory Commissionin (NRC) kanssa. TEM hankki Yhdysvaltain sisä- ja energiaministeriöiltä tarpeelliset tiedot varmistuakseen ydinjätehuollon toteutumisesta Yhdysvalloissa polttoaineen käytön päätyttyä.

Kuten olemme jo numerossa 1/2021 kertooneet, ratkaisu saatiin kuin saatiinkin nopeasti aikaan ja polttoaine luovutettiin viime vuoden vaihteessa. Kaikki VTT:n kanssa operaatioon osallistuneet – vastaanottaja, palveluntarjoajat ja molempien maiden viranomaiset – osoittivat erittäin vahvaa sitoutumista kaikille mieluisan lopputuloksen varmistamiseksi. Käytöstäpoiston lupakäsittelyn tämä ”ilmaveivi” vei jatkoajalle, mutta samalla luvan sisältö yksinkertaistui VTT:n jäljellä olevien vastuiden vähennyttyä polttoaineen poistuessa Suomesta lopullisesti.

FIR 1 on tuottanut koko käyttöhistoriansa aikana 103 TRIGA-polttoaine-elementin verran eli n. 300 kg käytettyä ydinpolttoainetta, jonka sisältämän uraanin massa on reilu 20 kg. Palautus Yhdysvaltoihin on koko ajan ollut VTT:n ensisijainen vaihtoehto käytetyn ydinpolttoaineen huollon järjestämiseksi, mikä on saanut yksimielisen tuen kaikilta lausunnonantajilta sekä YVA- että käyttöluovapaiheessa. Palautuksen vastaanottajaksi oli suunniteltu Idaho National Laboratory, jolle tehtävät ulkomaisten tutkimusreaktorien polttoainepalautukset ovat kuitenkin olleet syksystä 2014 lähtien pysähdyksissä.

Polttoaineen nopea luovutus USGS:lle oli mahdollinen, koska olimme ottaneet merkittävästi etunojaa kuljetusjärjestelyissä. Jo ennen

kesää 2020 VTT oli teettänyt kuljetuksen luvitusta varten vaadittavat suunnitelmat ja valmistellut lupahakemukset. STUK oli VTT:n hakemuksesta myöntänyt helmikuussa 2020 TRIGA-polttoaineen kuljetukseen käytettävän kuljetuspakkauksen rakennetyypin hyväksynnän saattamalla Suomessa voimaan Yhdysvaltain ydinturvallisuusviranomaisen antaman hyväksymistodistuksen. Samoin VTT oli tilannut valmistettavaksi kuljetuspakkauksen sisäosat, joiden valmistus ja laadunvarmistus ovat kuljetusvalmistelun pitkäkestoisin toimenpide.

Kaikki valmistelut oli tehty siinä uskossa, että kuljetuksen määränpää olisi Idahossa, mutta niistä saatiin täysi hyöty myös Coloradon suuntautuvaan kuljetusta toteutettaessa.

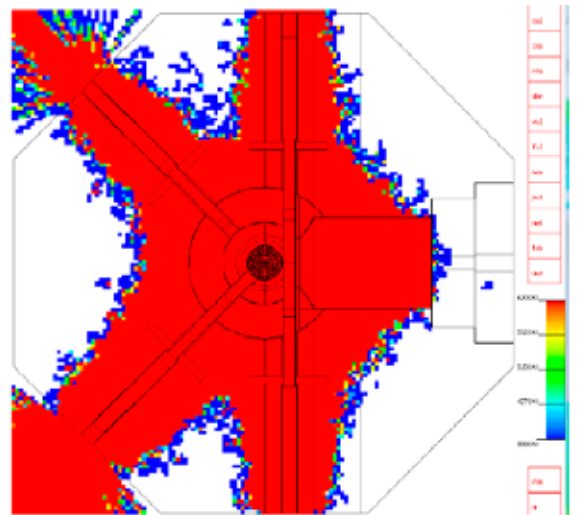
Yhdysvaltoihin lähettämisen rinnalla ylläpidetty käytetyn polttoaineen kotimainen jätehuolto-vaihtoehto olisi perustunut VTT:n ja Posivan väliseen, alun perin vuonna 1990 VTT:n ja TVO:n välille laadittuun periaatesopimukseen, joka oli voimassa viiden vuoden ajan reaktorin käytön päättymisestä eli kesäkuun 2020 loppuun asti. Sopimuksen mukaan VTT:n oli sopimuksen voimassaoloaikana ilmoitettava Posivalle mahdollisesta tarpeestaan käyttää Posivan loppusijoitustiloja. VTT ja Posiva allekirjoittivat joulukuussa 2019 periaatesopimukseen 10 vuoden jatkon vuoden 2030 kesäkuun loppuun asti, ja polttoaineen poistuttua loppulta totesivat periaatesopimuksen rauenneeksi 31 vuoden voimassaolon jälkeen maaliskuussa 2021.

Mitä olemme oppineet?

Suomen ensimmäisen käytöstäpoiston myötä on koeponnistettu paitsi VTT:n kykyä huolehtia velvollisuuksistaan myös lainsäädäntöä ja viranomaisohjeita. Olemme pitäneet säännöllisiä seurantakokouksia TEM:n ja STUKin kanssa ja esimerkiksi keskustelleet käytännössä toimivista ohjeiden tulkinnoista silloin, kun kirjaimellinen soveltaminen Suomen ja VTT:n tilanteeseen ei ole ollut mahdollista.

Käytöstäpoiston kattavampi huomioiminen oli keskeinen uusi osa ydinennergialain muutosta, joka tuli voimaan vuonna 2018. STUK on puolestaan ottanut VTT:ltä projektin puitteissa samaansa palautetta huomioon viimeaikaisissa YVL-ohjeiden päivityksissä.

VTT:n tieteelliseen osaamiseen perustuva perusteellinen radionuklidien inventaarilaskenta aikaisessa vaiheessa on osoittautunut



3D-inventaarilaskentaan perustuva arvio reaktorin betonisen pääsäteilysuojan aktivoituneesta osasta, josta syntyvä purkujäte käsitellään ydinjätteenä (punainen). Muu osa betonia voidaan vapauttaa valvonnasta ja kierrättää tavanomaisena rakennusjätteenä. Laskennan validoimiseksi betonista otettiin näytteitä joulukuussa 2018 (kuvat: VTT).

äärimmäisen arvokkaaksi lähtötiedoksi lähes kaikilla projektin osa-alueilla. Laskenta on tehty erikseen käytetylle polttoaineelle ja reaktorin rakenteille, ottaen huomioon reaktorin koko käyttöhistoria ajoittain muuttuneine konfiguraatioineen, yksityiskohtainen 3D-geometria ja kaikki materiaalien koostumustiedot niin tarkkaan kuin niitä on ollut saatavilla ja pystytty määrittämään. Tuloksilla on käyttöä niin purkusuuunnittelussa (menetelmät ja työturvallisuus), jätesuunnittelussa (jätemäärät, pakkaukset ja varastotilat) kuin projektin aikataulutuksessa ja budjetoinnissakin (työmäärät ja laitteet).

Laskennallisten inventaarinen validointi näytteenoton ja mittauksen kautta etenee sitä mukaa kuin rakenteisiin päästään käsiksi käytöstäpoiston eri vaiheissa. Aiheesta on valmistunut jo yksi väitöskirjakin, josta kerrottiin numeron 3/2020 opinnäytteet-palstalla.

Siirtyminen reaktorin käytöstä käytöstäpoistoon on haaste, johon ei voi liaksi valmistautua. Samalla kun pysyvässä sammutustilassa olevan laitoksen ylläpitoa jatketaan lähes entisellä tavalla, tulee varautua purkuvaiheessa lähes päivittäin muuttuvaan tilanteeseen, ulkopuolisen työvoiman käytön lisääntymiseen ja ydinjätemäärien kasvamiseen dramaattisesti verrattuna käytön aikaiseen jätteen käsittelyyn. Olemme tiedostaneet, että muutos haastaa vaikiintuneen ajattelumme ja siihen pohjautuvan turvallisuuskulttuurimme, ja pyrkineet sekä kartoittamaan että kehittämään turvallisuuskultuuria määrätietoisesti käytöstäpoistoa varten.

Organisaation osalta VTT:llä on onnistuttu säilyttämään vahva laitostuntemus: olenaisesti koko käyttöorganisaatio on edelleen projektin käytettävissä, minkä lisäksi projektin henkilöstöä on vahvistettu ennen kaikkea palkkaamalla kokeneita asiantuntijoita käytöstäpoiston suunnittelu- ja toteutusvaiheeseen. Suomen ulkopuolella kertynyttä kokemusta on saatu käyttöön ulkomaisten suunnittelijoiden kautta ja tietenkin verkostoitumalla kansainvälisissä konferensseissa ja seminaareissa.

Olemme perustaneet hankkeelle infosivun [4], jolta löytyy uutisia, ajankohtaista tietoa ja yleistajuisia vastauksia kysymyksiin.

Ai kauanko kestää ja paljonko maksaa?

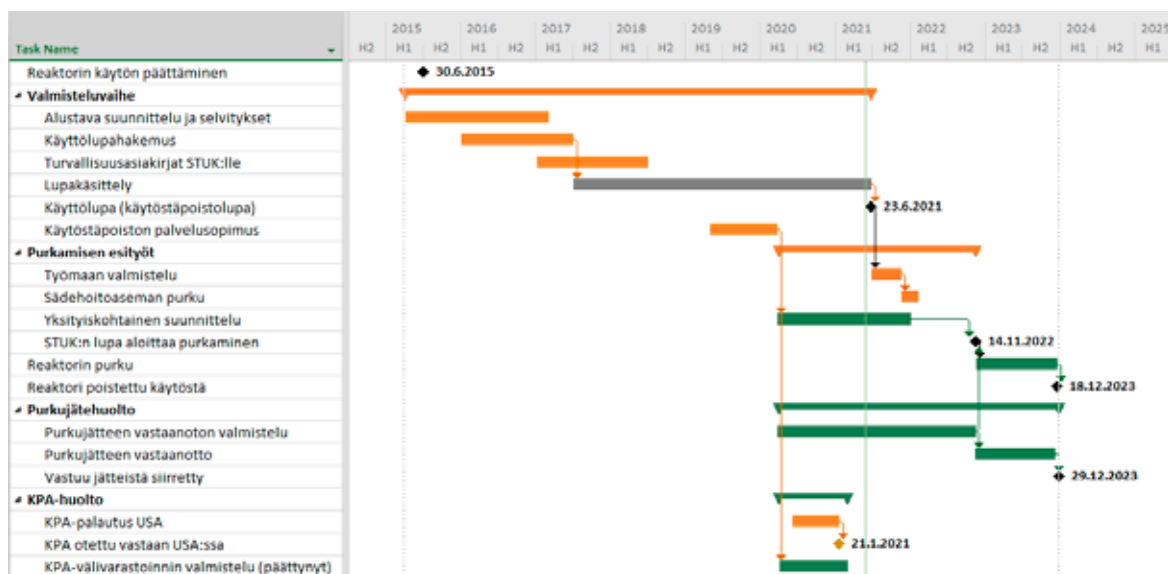
Edellä kerrotusta valmistautumisesta huolimatta aliarvioimme alkuvaiheessa laajojen luvitusaineistojen laatimiseen ja sitovien ydinjätehuollon sopimusten solmimiseen tarvittavan työmäärän ja ajan. Ydinjätehuollon ratkaisujen vahvistuminen liian myöhäisessä vaiheessa – sekä Yhdysvalloissa että kotimaassa – on ollut projektille monivuotinen rasite suunnittelun monien reunaehtojen pyssyessä pitkään liikkuvina, minkä vuoksi esimerkiksi YVA-vaiheessa arvioidut aikataulut eivät ole pitäneet. Tämänhetkisen suunnitelman mukaan purkamisen päävaihe voidaan toteuttaa jätteiden vastaanottoon liittyvän luvituksen valmistuttua vuosina 2022–23, jolloin

reaktori olisi poistettu käytöstä vuoden 2023 loppuun mennessä.

VTT on vuosittain päivittänyt käytöstäpoiston kustannusarviota ydinenergialain mukaisen varautumisvelvollisuuden määrittämiseksi. Valtio myönsi vuonna 2018 käytöstäpoistoa varten erityismäärärahan, jota on käytetty VTT Oy:n VYR-osuuden kasvatamiseen kustannusarvion mukaiseksi. VTT Oy:n rahasto-osuus valtion ydinjätehuoltora-hastossa (VYR) on nyt noin 19 miljoonaa euroa. Summa vastaa vuosi sitten tehtyä arviota, jonka mukaan projektin kokonaiskustannuksiksi olisi tulossa noin 31 miljoonaa euroa. Kokonaiskustannukset kuitenkin tulevat hyvällä varmuudella jäämään tuota arviota alemmiksi sen ansiosta, että käytetyn polttoaineen ratkaisu saatiin toteutettua jo tässä vaiheessa. TEM vahvistaa uuden arvion vuoden 2021 loppuun VTT:n esityksen perusteella.

Kuriositeettien ystävien iloksi voidaan lopuksi todeta, että VTT:n saama lupa on ydinenergialain 20 §:n mukainen *käyttölupa*, jonka tarkoituksena on kuitenkin laitoksen käytöstä poistaminen. Tämä erikoisuus johtuu siitä, että *käytöstäpoistolupa* (20 a §) tuli ydinenergialakiin uutena vuonna 2018 vasta VTT:n lupahakemuksen jättämisen jälkeen, eikä lakimuutosta siirtymäsäännöksen vuoksi sovelleta takautuvasti. Eli tarkkaan ottaen otsikossa mainittu Suomen ensimmäinen käytöstäpoistolupa odottaa vielä hakijaansa ministeriön hyllyssä viereisen pinon päällimmäisenä. ☁

Fir 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoiston ja ydinjätehuollon arvioitu aikataulu. Vihreällä merkityt vaiheet toteutetaan pääosin VTT:n ja Fortumin välisen sopimuksen puitteissa (kuva: VTT).



Lähteet

- HUS:n uutinen 16.7.2019 (www.hus.fi/ajankohtaista/maailman-ensimmainen-sairaala-alueelle-sijoitettava-neutroniikihdytin-avaa-uuusia, haettu 3.8.2021)
- <https://tem.fi/t-eknologian-tutkimuskeskus-vtt-oy-n-lupa-reaktorin-kaytosta-poistoon>
- www.stuk.fi/-/stuk-lupa-espoon-otaniemessa-olevan-tutkimusreaktorin-kaytosta-poistoon-voidaan-antaa
- www.vttresearch.com/fi/palvelut/fir-1-ydinreaktorin-kaytosta-poisto

Olkiluotoon suunnitteilla uusi hyvin matala-aktiivisen jätteen loppusijoitusratkaisu

Teollisuuden Voima Oyj (TVO) suunnittelee hyvin matala-aktiivisen jätteen (HMAJ) maaperäloppusijoitustilan perustamista Eurajoen Olkiluotoon ydinvoimalaitoksen alueelle. Hankkeen ympäristövaikutukset on selvitetty YVA-lain mukaisessa arviointimenettelyssä vuosien 2020–2021 aikana. Maaperäloppusijoitus on maailmalla tunnettu, mutta se on Suomessa uusi menetelmä.

Teksti: Annukka Laitonen **Kuvat:** Ringhals



DI Annukka Laitonen
T&K insinööri
TVO Oyj
annukka.laitonen@tvo.fi

OLKILUODON KÄYNNISSÄ OLEVIEN ydinlaitosten matala- ja keskiaktiiviset jätteet loppusijoitetaan tällä hetkellä laitosalueella olevaan voimalaitosjäteluolaan (VLJ). Suuri osa VLJ-luolaan sijoitettavasta jätteestä on hyvin matala-aktiivista jätettä (<100 kBq/kg). Sellaisen jätteen sijoittaminen kallioperään ei ole tarkoituksenmukaista, sillä VLJ-luolan suojaustaso on jätteen aktiivisuuteen nähden ylimitoitettu. Tulevaisuudessa myös OL3 ja Posiva tuottavat hyvin matala-aktiivisia jätteitä, jotka pitää loppusijoittaa tarkoituksenmukaisen suojaustason mukaisesti.

Maaperäloppusijoitustila

Maaperäloppusijoitus on maailmalla tunnettu, mutta Suomessa uusi menetelmä. Esimerkiksi Ruotsissa siitä on 28 vuoden kokemus ja Ruotsin kokemukset ovat olleet hyviä. Toiminnasta ei ole raportoitu päästöjä tai muitakaan ympäristövaikutuksia.

Maaperäloppusijoitustila muodostuu jäte-
tätöstä sekä sen ylä- ja alapuolisista erilaisista rakennekerroksista, joiden ominaisuuksiin loppusijoituksen turvallisuus perustuu. Maaperäloppusijoitustilan rakenne suunnitellaan niin, ettei radionuklideja pääse kulkeutumaan veden mukana ympäristöön.

Pohjan yhteyteen rakennetaan salaojitus sekä vesien keräysjärjestelmä, jolla tilan läpi mahdollisesti suotautuvien vesien laatua voidaan seurata. Pakatut jätteet sijoitetaan pohjarakenteen päälle. Pintarakenne koostuu useasta kerroksesta ja sen tehtävänä on eristää jäte muusta ympäristöstä rajoittamalla eliöstön pääsyä jätteeseen sekä veden virtaamista jätetätön läpi.

TVO:n maaperäloppusijoitustila mitoitetaan 10 000 m³:n jätemäärälle. Alueen kooksi on suunniteltu noin 80 x 110 m.

Loppusijoitusta odottavat hyvin matala-aktiiviset jätteet pakataan vesitiiviisiin merikontteihin. Niitä säilytetään laitosalueella sijaitsevalla aidatulla välivarastointialueella. Jätepakkauksia loppusijoitetaan maaperäloppusijoitustilaan kampanjaluontoisesti 5-10 vuoden välein, ja väliaikoina jätteellä täytetty osuus tilasta on vesitiiviisti suljettu.

Maaperäloppusijoitustilan turvallisuus perustuu tilan rakenteiden toimintaan, loppusijoitettavan jätteen ominaisuuksiin sekä laskennallisesti osoitettuun hyvin pieneen säteilyaltistusriskiin. Maaperäloppusijoitustilaan voidaan sijoittaa vain hyvin matala-aktiivisia jätteitä, joiden keskimääräinen aktiivisuustaso on korkeintaan 100 kBq/kg. Koska kyse ei

Maaperäloppusijoitustila Ringhalsissa käytön aikana ja sen päätyttyä.



Taulukko 1. Eri jättejakeiden keskimääräiset aktiivisuuspitoisuudet.

Jätejake	Jätteen keskimääräinen aktiivisuuspitoisuus
Valvonnasta vapautettava jäte	< 1 kBq/kg
Tapauskohtaisesti valvonnasta vapautettava jäte	< 10 kBq/kg
Hyvin matala-aktiivinen jäte	< 100 kBq/kg
Matala-aktiivinen jäte	< 1 MBq/kg
Keskiaktiivinen jäte	1 MBq/kg - 10 GBq/kg

ole laajamittaisesta loppusijoituksesta, loppusijoitettavien jätteiden kokonaisuusaktiivisuus ei saa ylittää raja-arvoa 1 TBq.

YVA-menettely

Hyvin matala-aktiivisen jätteen maaperälöppusijoittamishankkeelle tehtiin ympäristövaikutusten arviointimenettely, sillä se on YVA-lain hankeluettelon mukainen hanke (kohta 7: Energian tuotanto; d-kohta: laitokset, jotka on suunniteltu ainoastaan radioaktiivisen jätteen loppusijoittamiseen).

Hankkeiden ympäristövaikutukset pitää selvittää YVA-lain mukaisessa arviointimenettelyssä ennen kuin ryhdytään ympäristövaikutusten kannalta olennaisiin toimiin. YVA-menettelyn tavoitteena on tuottaa tietoa päätöksenteon perustaksi ja lisätä tiedonsaantia ja osallistumismahdollisuuksia. Siinä ei kuitenkaan tehdä hanketta koske-

via päätöksiä eikä ratkaista sitä koskevia lupa-asioita.

Maaperälöppusijoitushankkeen ympäristövaikutusten arviointimenettely käynnistyi elokuussa 2020, kun TVO toimitti yhteysviranomaisena toimivalle työ- ja elinkeinoministeriölle (TEM) ympäristövaikutusten arviointiohjelman. TEM järjesti asiasta julkisen kuulemisen ja YVA-ohjelman yleisötilaisuus järjestettiin viime vuoden syyskuussa Eurajoella. Järjestäjätahojen lisäksi tilaisuutta seurasi 11 henkilöä.

YVA-ohjelmasta toimitettiin yhteensä 24 lausuntoa tai mielipidettä. Lausunnoissa arviointiohjelmaa pidettiin pääosin kattavana ja YVA-lain ja -asetuksien kannalta riittävänä. Maaperälöppusijoitukseen suhtauduttiin myönteisesti lukuun ottamatta kolmea lausuntoa tai mielipidettä.

Lausunnoissa kiinnitettiin erityisesti huomiota erilaisten onnettomuustilanteiden ja ris-

kien arviointiin. Useissa lausunnoissa tuotiin esiin ilmastonmuutoksen aiheuttamien ääri-ilmiöiden, erityisesti tulvien, lisääntymisen. Myös alueiden käyttöön ja kaavoitukseen liittyviin aiheisiin kiinnitettiin huomiota. Normaaliolosuhteissa hankkeen ympäristövaikutukset nähtiin kuitenkin vähäisiksi.

TEM antoi YVA-ohjelmasta lausuntonsa lokakuussa 2020. TEM katsoi, että arviointiohjelma oli laajuudeltaan ja tarkkuudeltaan riittävä hankkeen ympäristövaikutusten arvioimiseksi edellyttäen, että lausunnossa esitetyt asiat otettaisiin huomioon hankkeen edetessä ja YVA-menettelyn myöhemmissä vaiheissa.

YVA-menettely jatkui YVA-selostuksen laatimisella, joka toimitettiin TEM:lle toukokuussa 2021. Sen jälkeen oli kahden kuukauden ajan mahdollisuus lausuntojen tai mielipiteiden esittämiseen. YVA-selostuksen yleisötilaisuus järjestettiin webinaarimuodossa koronapandemian takia tämän vuoden kesäkuussa. Yleisöllä oli mahdollisuus esittää kysymyksiä kirjallisesti tilaisuuden ajan. Tilaisuutta seurasi enimmillään 16 henkilöä.

YVA-selostuksesta toimitettiin yhteensä 13 lausuntoa ja mielipidettä, minkä lisäksi 10 tahoja ilmoitti, etteivät lausu asiasta. Useissa lausunnoissa YVA-selostusta pidettiin kattavana ja vaikutusarviointia pidettiin riittävänä. Kielteisessä lausunnossa nostettiin esille mahdollinen haitta ja mahdollisten päästöjen vaikutukset ympäristöön.

TEM laatii YVA-selostuksesta perustellun päätelmän, jossa on huomioitu selostuksesta



annettujen lausuntojen sisällöt, ja antaa sen syyskuun loppuun mennessä. YVA-asiakirjat ja siihen liittyvät lausunnot ja mielipiteet löytyvät sivulta: <https://tem.fi/hmaj-yva>

Arvioitavat vaihtoehdot

YVA-ohjelmavaiheessa maaperäloppusijoitustilan sijoituspaikkavaihtoehtoja oli neljä. Näistä karsittiin kuitenkin yksi pois YVA-ohjelmavaiheen jälkeen, sillä se todettiin teknisesti liian haastavaksi toteuttaa.

Varsinaisten hankevaihtoehtojen lisäksi tarkasteltiin vaihtoehtoa VEO+, jossa maaperäloppusijoitustilaa ei rakenneta, vaan hyvin matala-aktiivinen jäte loppusijoitetaan jatkossa Olkiluodon VLJ-luolaan, ja sitä laajennetaan tarvittavilta osin louhimalla lisää tiloja kallioperään.

Kaikki hankevaihtoehdot sijoittuvat voimalaitosalueen pohjoispuolelle puretun vanhan majoituskylän sekä kaatopaikan lähiympäristöön. Hankevaihtoehto 1 (VE1) sijaitsee noin 2–3 metriä ja hankevaihtoehdot 3–4 (VE3-4) noin 6–7 metriä merenpinnan tasosta.

Vaihtoehtojen ympäristövaikutukset

Ympäristövaikutuksilla tarkoitetaan hankkeen aiheuttamia välittömiä ja välillisiä vaikutuksia ympäristöön. YVA-lain mukaisesti arvioinnissa tarkasteltiin hankkeen aiheuttamia ympäristövaikutuksia:

- väestöön sekä ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen
- maahan, maaperään, vesiin, ilmaan, ilmaston, kasvillisuuteen sekä eliöihin ja luonnon monimuotoisuuteen
- yhdyskuntarakenteeseen, aineelliseen omaisuuteen, maisemaan, kaupunkikuvaa ja kulttuuriperintöön
- luonnonvarojen hyödyntämiseen
- näiden tekijöiden keskinäisiin vuorovaikutussuhteisiin.

Hankkeen kolme eri toteutusvaihtoehtoa sekä VEO+-vaihtoehto eroavat toisistaan sijoituspaikan ja rakentamistapojen suhteen.

Ympäristövaikutusten arvioinnissa tarkasteltiin sekä hankealueen sisälle että han-

VLJ-luolan laajentaminen ja toiminta (VE0+)

VLJ-luolan suunnittelussa on varauduttu tilojen laajentamiseen matala- ja keskiaktiivisille käyttö- ja käytöstäpoistojätteille tulevaisuudessa. Tämä vaihtoehto on YVA-menettelyssä niin sanottu O+-vaihtoehto.

VEO+-vaihtoehdossa maaperäloppusijoitustilaa ei rakenneta, ja hyvin matala-aktiivinen jäte loppusijoitetaan VLJ-luolaan. Tämän takia VLJ-luola tulee laajentaa enemmän ja laajennus tulee tehtäväksi aikaisemmin.

VEO+-vaihtoehdossa VLJ-luola joudutaan laajentamaan louhimalla tilaa hyvin matala-aktiiviselle jätteelle. Jätetilan lisäksi laajennus sisältää kulkureitit uuteen loppusijoitustilaan, tekniset tilat ja muut tarvittavat tilat. Tätä varten louhittavan tilan tilavuus tulisi olemaan arviolta noin 30 000 m³. Louhetta arvioidaan syntyvän VLJ-luolan laajennuksessa yli puolitoistakertaisesti verrattuna kiintokuutioiden, eli noin 1,5–1,8 m³/m³ktr.

kealueen ulkopuolelle ulottuvien toimintojen ympäristövaikutuksia. Hankealueen ulkopuolelle ulottuvaa toimintaa on esimerkiksi hyvin matala-aktiivisen jätteen kuljetukset. Ympäristövaikutusten arvioinnissa huomioitiin käytön aikaisten vaikutusten lisäksi rakentamisen sekä lopullisen sulkemisen vaikutukset.

Vaikutusten arviointi toteutettiin asian-tuntija-arviona suunnittelu- ja konsulttiyhtiö AFRY:n toimesta olemassa olevan aineiston pohjalta sekä osin pohjautuen seuraaviin hankkeen aikana tehtyihin erillisselvityksiin: turvallisuusperustelu, luontoselvitys, maaperätutkimukset, valokuvasovitit, ilmapäästö-laskenta.

Ympäristövaikutusten arvioinnin perusteella todettiin, että hankkeen kaikki kielteiset vaikutukset ovat merkittävydeltään vähäisiä. HMAJ-maaperäloppusijoituksen myötä säästyy tilaa VLJ-luolassa ja sen laajennustarve siirtyy myöhemmäksi ja tulee olemaan pienempi kuin mitä se olisi ilman sitä. Tämä nähdään myönteisenä ympäristövaikutuksena.


Hanke todettiin tehtyjen arviointien perusteella toteuttamiskelpoiseksi kaikkien hankevaihtoehtojen osalta. Hankevaihtoehtojen välille syntyi hyvin pieniä eroja. Selkein ero on se, että VE4-alue (vanha majoituskylän alue) on jo valmiiksi tasoitettu eikä aiheuta niin suurta muutosta luonnonympäristöön tasoituksen

kautta. Lisäksi VE3-alueen (VLJ-luolan länsipuolinen metsäalue) louhintaa voidaan pitää vaikutuksiltaan kallioperään suurempana kuin muita hankevaihtoehtoja.

Hankkeen toteutusaikataulu ja seuraavat vaiheet

TEM:n YVA-selostuksesta antaman perustelun päätelmän jälkeen hanke etenee lupavaiheisiin. Sille tulee hakea seuraavat luvat:

- Toimintalupa (YEL 990/1987)
- Ympäristölupa (YSL 527/2014)
- Rakennuslupa (MRL 132/1999)
- Muut luvat: mm. maisematyölupa

Maaperäloppusijoituksen arvioidaan käynnistyvän Olkiluodossa vuonna 2023–2024. Jätteiden loppusijoittaminen tapahtuu kampanjaluonteisesti noin 5–10 vuoden välein. Yhden kampanjan kesto on arviolta kaksi viikkoa. Tämän hetken arvion mukaan maaperäloppusijoitustila suljetaan lopullisesti aikaisintaan 2090-luvulla. 

Kymmenen vuotta Fukushima onnettomuudesta

Tuomo Sevón
VTT

UNSCEARin päivitettyjen laskelmien mukaan Fukushima onnettomuudessa pääsi ilmaan 2–8 % kolmen onnettomuusreaktorin radioaktiivisesta jodista ja 1–3 % cesiumista. Päästöarviot on laskettu ratkaisemalla inver-sio-ongelma: millainen päästö voi aiheuttaa mitatut annosnopeudet ja laskeuman. Laitosalueen ulkopuolella lähes kaikkien ihmisten säteilyannokset jäivät alle kymmenen millisievertin. Evakuoinnilla vältettiin suurim-millaan 40 mSv. Voimalaitoksella kolmos- ja nelosyksiköiden polttoainealtaista on saatu poistettua kaikki käy-tetty polttoaine. Onnettomuustutkimuksen puolella VTT on kehittänyt laskentamallin, jolla saatiin simuloitua reaktorin pinnankorkeusmittauksen virheellinen toiminta onnettomuuden aikana.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation has updated its estimates of the releases and doses caused by the Fukushima accident. 2–8% of the iodine inventory and 1–3% of the cesium inventory of the three reactors was released to the atmosphere. The release estimates have been calculated by solving an inverse problem, based on measured dose rates and ground deposition. Almost all members of the public received less than ten millisieverts of radiation. Doses averted thanks to the evacuation were up to 40 mSv. At the power plant, fuel has been removed from the spent fuel pools at units 3 and 4. As regards accident research, VTT has developed a calculation model that can reproduce the erroneous reactor water level measurements during the accident.

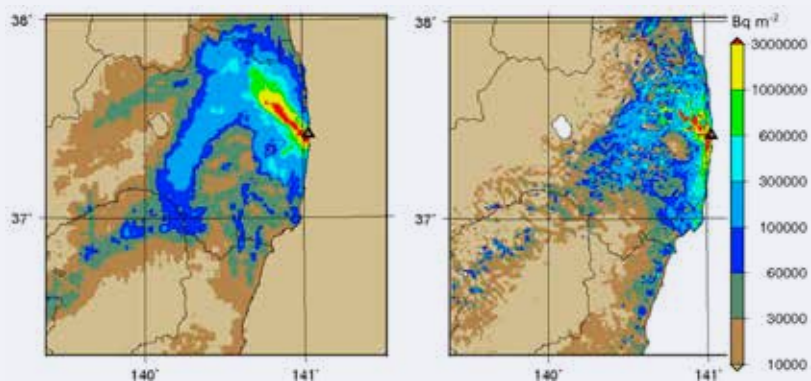
Maaliskuussa tuli kuluneeksi kymmenen vuotta Fukushima onnettomuudesta. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) julkaisi raportin [1], jossa päivitettiin seitsemän vuoden takaisia tietoja päästöistä ja säteilyannoksista. OECD Nuclear Energy Agency julkaisi kymmenvuotisraportin [2], jossa kerrattiin onnettomuuden kulku ja kerrottiin laitoksen nykytilanteesta sekä siitä, mitä onnettomuuden ansiosta on opittu. Tutkijat ympäri maailmaa ovat jatkaneet onnettomuuden tutkimista.

Päästöt ympäristöön samaa luokkaa kuin aiemmin arvioitu

Päästöjen määrää voidaan arvioida kahdella tavalla: simuloimalla onnettomuuden kulkua tietokonemalleilla tai ”käänteisellä” menetelmällä ympäristömittauksiin perustuen. Onnettomuuden mallintamisen, jota itse olen tehnyt, suurena ongelmana on reunaehtojen epävarmuudet: ei tiedetä, kuinka paljon vettä paloautoilla saatiin pumpattua reaktoreihin ja mitä vuotoreittejä pitkin fissiotuotteet pääsivät ympäristöön.

Käänteisessä menetelmässä taas ratkaistaan inver-sio-ongelma: millainen päästö voi aiheuttaa mitatut annosnopeudet, ilmakonsentraatiot ja laskeuman (kuva 1).

Ratkaisussa käytetään malleja, jotka laskevat radioaktiivisten aineiden kulkeutumista ympäristössä tuulen ja sadepisaroiden mukana. Käänteisen menetelmän ongelmana on, että suurin osa päästöstä kulkeutui tuulen mukana merelle, ja sieltä on hyvin vähän mittauksia.



Kuva 1. Vasemmalla mitattu cesium-137-laskeuma. Oikealla JAEA:n laskema laskeuma käyttäen päästöarviota, joka parhaiten vastaa mitattuja annosnopeuksia, laskeumaa ja ilmakonsentraatiomittauksia. Fukushima voimalaitos on merkitty kolmiolla. Neliökilometrin ruuduista yli 80 % on tekijän 10 sisällä mitatusta arvosta. Kuva on julkaistu CC BY 4.0 -lisenssillä [3].

UNSCEAR luottaa enemmän inversio-ongelman ratkaisuun ja käyttää Japan Atomic Energy Agencyn julkaisemia päästöarvioita [3] omien annoslaskujensa pohjana.

UNSCEAR on saanut käyttöönsä paljon uutta mittausdataa laskeumasta ja fissiotuotteiden pitoisuuksista ilmassa. Yhdysvaltain puolustusministeriö on luovuttanut tutkijoiden käyttöön ilmakonsentraatiomittaukset, joita sotilaat tekivät onnettomuuden aikana. Cesium-pitoisuuksia on saatu analysoitua Japanin ilmansaasteita mittaavien asemien keräämistä näyteistä. [1]

Eniten mittausdataa on olemassa annosnopeuksista onnettomuuden aikana automaattisilta mittausasemilta ja kannettavilta mittareilta. Onnettomuuden jälkeen on mitattu radioaktiivisten aineiden laskeumaa maanpinnassa. Paljon vähemmän on olemassa ilmakonsentraatioiden mittauksia. Suurin osa mittauksista keskittyi kolmeen nukliidiin: jodi-131, cesium-134 ja cesium-137. Muita aineita, kuten telluuria, on mitattu paljon vähemmän.

Päästöt alkoivat 12. maaliskuuta 2011. Ensimmäisen viikon aikana päästön suuruus vaihteli huomattavasti, kun voimalassa tehtiin suojarakennuksen ulospuhalluksia ilman suodattimia ja suojarakennukset vuotivat korkeassa paineessa. Viikon jälkeen päästöt alkoivat vähentyä, ja kolmen viikon kuluttua ympäristöön pääsi enää alle tuhannesosa ensimmäisen viikon päästöistä.

UNSCEAR arvioi kokonaispäästöiksi ilmaan 100–500 PBq jodi-131:tä ja 6–20 PBq cesium-137:ää. Tämä vastaa 2–8 % kolmen onnettomuusreaktorin jodi-inventaarista ja 1–3 % cesium-inventaarista. [1] VTT:n uusimmat, MELCOR-koodilla lasketut päästöarvot osuvat mukavasti UNSCEARin epävarmuusrajojen sisälle: 250 PBq I-131:tä ja 11 PBq Cs-137:ää.

Fukushiman cesiumpäästö oli noin sata kertaa suurempi kuin Suomen ydinenergia-asetuksessa määrätty 0,1 PBq:n raja-arvo vakavan onnettomuuden päästöille. Becquerleinä jalokaasupäästö oli toki paljon suurempi kuin jodi- ja cesiumpäästöt, mutta jalokaasut eivät aiheuta ihmisille niin suuria säteilyannoksia.

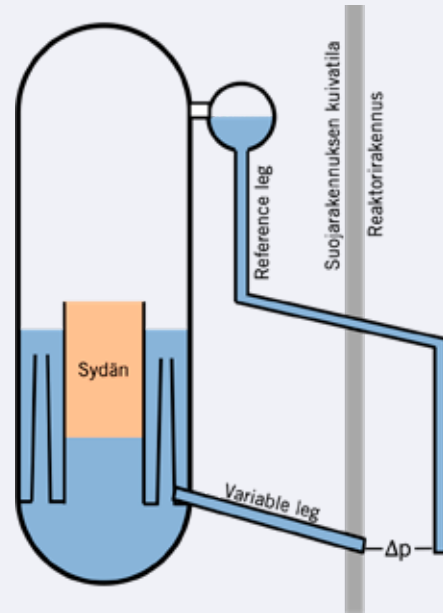
UNSCEARin mukaan noin 80 % ilmaan päässeistä fissiotuotteista kulkeutui tuulen mukana merelle. Lisäksi mereen pääsi suoraan vesivuotojen mukana 10–20 PBq I-131:tä ja 3–6 PBq Cs-137:ää.

Säteilyannokset pienentyneet vanhoista laskelmista

UNSCEARin uusien laskelmien [1] mukaan onnettomuuden takia evakuoituiden ihmiset saivat ensimmäisen vuoden aikana 0,046–7,8 mSv efektiivistä annosta normaalin taustasäteilyn lisäksi. Annokset on laskettu eri evakuointiryhmien keskiarvoina; yksittäiset henkilöt saattoivat saada suurempia tai pienempiä annoksia. Suurimmat evakuoinnin ansiosta vältetyt annokset olivat noin 40 mSv. Japanissa taustasäteily tuottaa keskimäärin 2,2 mSv vuodessa.

Fukushiman prefektuurin ne asukkaat, joita ei evakuoitu, saivat kuntakeskiarvoina laskettuna 0,079–5,3 mSv taustasäteilyn päälle ensimmäisen vuoden aikana. Suurin osa annoksista on saatu ulkoisena annoksena pinnoille deponoituneista fissiotuotteista. Uudet annoslaskelmat ovat muutamia kymmeniä prosentteja pienempiä kuin edelliset, vuoden 2013 laskelmat. Ero johtuu pääasiassa tarkennetuista ruuan mukana saaduista annoksista. [1]

UNSCEAR laski myös kollektiivisen annoksen, jonka Japanin koko väestö saa onnettomuuden takia elinaikanaan. Tulos oli 44 000 manSv. Luonnon taustasäteily tuottaa heille 280 000 manSv vuodessa. UNSCEAR tietysti lisäsi alaviitteeseen normaalin disclaimerin, että “pitäisi välttää” syöpäkuolemien määrän arviointia kollektiivisen annoksen perusteella, kun yksilöiden saamat annokset ovat samaa luokkaa kuin taustasäteilyn vaihtelu eri alueilla.



Kuva 2. Reaktorin vedenpinnan korkeuden mittaus perustui paine-eron mittaamiseen kahden vedellä täytetyn putken välillä. Putket oli liitetty reaktoriin eri korkeuksille niin, että hydrostaattinen paine reference legissä pysyy vakiona, mutta variable legissä paine muuttuu reaktorin pinnankorkeuden mukaan.

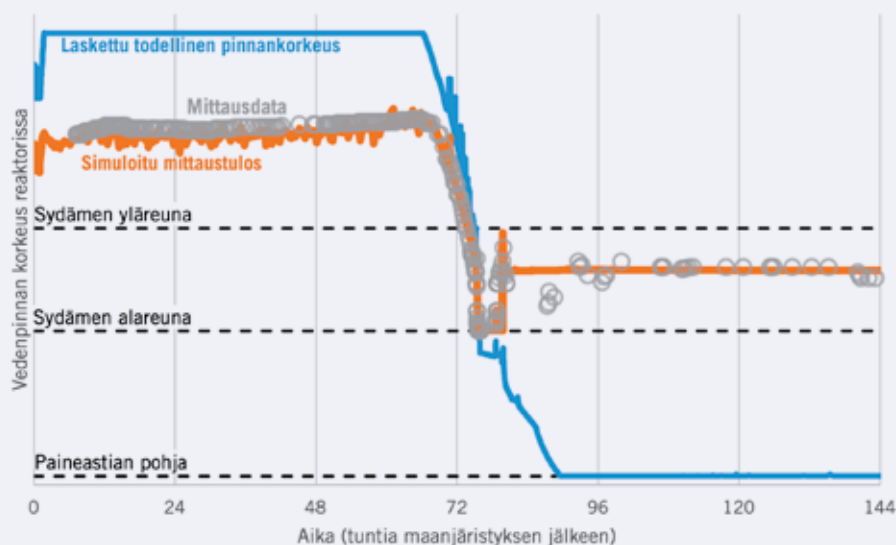
Onnettomuuden aiheuttamasta säteilyannoksesta johtuvia terveyshaittoja ei ole pystytty havaitsemaan. UNSCEARin arvion mukaan tilastollisesti havaittavia terveyshaittoja ei ole odotettavissa myöskään tulevaisuudessa. 174 voimalaitoksen työntekijää sai yli sadan millisievertin annoksen. Heidän syöpäriskinsä on kasvanut, mutta arvioituja kahta tai kolmea säteilyn aiheuttamaa syöpätapausta ei pystytty erottamaan muista syövistä.

Japanin hallitus otti tavoitteeksi puhdistaa saastuneet alueet niin, että ihmisten säteilyannos olisi yhden millisievertin yli normaalin taustasäteilyn. NEA:n raportin mukaan tavoite on epärealistinen. Kansainvälisten suositusten mukainen taso olisi alle 20 mSv/vuosi. NEA kirjoitti onnettomuuden jälkihoidosta poliittisesti korrektilla tavalla: “Resurssien keskittäminen yhden riskin, esimerkiksi säteilyaltistuksen aiheuttaman terveysriskin, pienentämiseen – ei välttämättä johda hyvinvoinnin tasapainoiseen suojeluun.”

Massiiviset, 24 miljardia euroa maksaneet puhdistustyöt saatiin suurimmalta osin valmiiksi vuonna 2017. Maa-aineksen poistaminen viiden sentin syvyydeltä on tuottanut jätettä 17 miljoonaa kuutiometriä eli 160 eduskuntatalon tilavuuden verran. [2] Evakuointimääräys on purettu 70 prosentilta alueesta. Palanneiden asukkaiden vuosiannos näillä alueilla on Japanin tavoitteen mukainen eli noin yhden millisievertin yli normaalin taustasäteilyn. [1]

Työt laitoksella edistyvät hitaasti

Eniten edistystä on saavutettu käytetyn polttoaineen poistamisessa reaktorirakennusten vesialtaista. Nelosyksiköllä työ saatiin valmiiksi 2014 ja kolmosella 28.2.2021, juuri ennen onnettomuuden kymmenvuotispäivää. Polttoaine siirrettiin laitosalueella sijaitsevaan keskitettyyn allasvarastoon, josta taas vanhempaa polttoainetta on siirretty kuivavarastoon. Ykkösellä ja kakkosella työtä ei ole vielä aloitettu. Laitokselle varastoitua tuoretta polttoainetta aiotaan tarjota käytettäväksi jollain toisella voimalaitoksella.



Kuva 3. Ensimmäiset 66 tuntia pinnankorkeus Fukushima kakkosreaktorissa oli mittausalueen yläpuolella passiivisen, höyryturbiinilla toimivan vesipumpun ansiosta. 78,5 tunnin kohdalla mittaus alkoi toimia väärin, koska vesi alkoi kiehua mittausjärjestelmän putkissa. VTT:n laskentamalli pystyy simuloimaan mittausjärjestelmän virheellisen toiminnan. [4]

Vaurioituneen polttoaineen poistaminen aiotaan aloittaa kakkosreaktorin suojarakennuksesta. TEPCO on hankkimassa Veolia Nuclear Solutions -yhtiöltä Britanniasta 22 metriä pitkää robottikäsiä, joka yltää suojarakennuksen seinään tehtävän reiän kautta reaktorin alapuolelle. Sillä aiotaan poimia suojarakennuksen lattialta ensin pieniä materiaalinäytteitä ja myöhemmin suurempia määriä debristä. Tekniikka on samaa, jota Veolia on toimittanut JET-fuusioreaktorin huoltotöitä varten.

Laitosalueella on varastoituna kontaminoitunutta vettä 11 eduskuntatalon tilavuuden verran. Vedestä saadaan puhdistettua tehokkaasti muut radioaktiiviset aineet paitsi tritium. Puhdistetun veden laskeminen mereen aiheuttaa ihmisille säteilyannosta noin tuhannesosan luonnon taustasäteilystä [2]. Suurempi ongelma onkin, että erityisesti kalastaji-

en elinkeino voi kärsiä mainehaitasta. Japanin hallitus sai tehtyä päätöksen, että puhdistettu vesi lasketaan mereen, ja IAEA on näkyvästi kiitellyt päätöstä.

Reaktorin pinnankorkeuden mittaus toimi väärin

Tutkimustyö onnettomuuden tarkan kulun selvittämiseksi on jatkunut OECD/NEA:n kansainvälisissä projekteissa, joihin myös VTT osallistuu. Tuoreimpana työnä lisäsin VTT:n MELCOR-malliin reaktorin vedenpinnankorkeuden mittausjärjestelmän (kuva 2). Mittaus toimi hyvin siihen asti, kunnes vesi mittausjärjestelmässä alkoi kiehua. Kakkosyksiköllä mitattu pinnankorkeus hyppäsi sydämen puoliväliin 78,5 tuntia maanjäristyksen jälkeen ja pysyi siinä useita viikkoja. Mittaustulos oli selvästi virheellinen, mutta onnettomuuden aikana epäselvyys pinnankorkeudesta vaikeutti operaattorien työtä.

Vesi voi kiehua mittausjärjestelmän putkissa vain, jos lämpötila suojarakennuksen kuivatilassa on korkeampi kuin kiehumispiste reaktorin paineessa. Lämpötila voi nousta näin korkeaksi, jos reaktorista vuotaa tulistunutta höyryä kuivatilaan. Höyryn laskeminen varoventtiilien kautta lauhdutusaltaaseen ei kiehua mittausputkia kuivaksi.

MELCOR-mallilla sain simuloitua mittausjärjestelmän virheellisen toiminnan oletamalla pienen, 8 cm²:n vuodon höyrylinjasta suojarakennukseen 78,5 tunnin kohdalla (kuva 3). Laskemalla ei voi päätellä, missä kohdassa vuoto sijaitti. Se voi olla esimerkiksi varoventtiilin tiivisteessä, joka on voinut vaurioitua kuumen höyryn takia. [4]

Paine-eroon perustuva pinnankorkeuden mittausjärjestelmä voi siis toimia epäluotettavasti vakavassa onnettomuudessa. Sen luotettavuutta voisi parantaa esimerkiksi lisäämällä lämpöeristeen mittausputkien ympärille tai reitittämällä putket niin, että ne kulkevat suojarakennuksen sisällä lähes vaakasuoraan. Pystysuorat osuudet olisi parempi sijoittaa suojarakennuksen ulkopuolelle, missä ne pysyvät viileinä myös onnettomuustilanteissa.

Viitteet

- [1] UNSCEAR. Levels and effects of radiation exposure due to the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: implications of information published since the UNSCEAR 2013 Report. 2021. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
- [2] NEA. Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, ten years on: progress, lessons and challenges. 2021. OECD Nuclear Energy Agency.
- [3] Terada, H. et al. Refinement of source term and atmospheric dispersion simulations of radionuclides during the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident. *Journal of Environmental Radioactivity* 213: 106104 (2020).
- [4] Sevón, T. Analysis of reactor water level measurements during the Fukushima unit 2 accident. *Nuclear Engineering and Design* 366: 110760 (2020).

Kirjoittaja



DI Tuomo Sevón

Erikoistutkija

VTT

tuomo.sevon@vtt.fi

Edistykselliset ydinpolttoaineen suojakuoriratkaisut

Janne Heikinheimo
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Polttoaineen suojakuoren eheys mietityttää aina kun puhutaan polttoaineen turvallisuudesta. Tämä koskee sekä käytönaikaista että loppusijoituksen aikaista eheyttä. Fukushima ydinvoimalaonnettomuuden jälkeen ydinpolttoaineen zirkonium-suojakuorelle on etsitty parempia ratkaisuvaihtoehtoja sen korkeassa lämpötilassa tapahtuvan kiihtyvän hapettumisen takia. Tässä kirjoituksessa luodaan katsaus tämän hetken ja tulevaisuuden kiinnostaviin suojakuoriratkaisuihin.

The integrity of nuclear fuel cladding is essential for the fuel safety. This includes both normal operation and final disposal conditions. After the Fukushima accident, research and development of conventional zirconium cladding has focused on finding better solutions for materials regarding their behaviour at elevated temperatures. This writing reviews briefly the current and future alternatives for cladding concepts.

Puhuttaessa paremmista polttoaineen suojakuoriratkaisuista, ei voi välttyä käyttämästä kirjainlyhennettä ATF. Kirjainlyhenne tulee sanoista "Accident Tolerant Fuel" tai "Advanced Technology Fuel". Kumpi on oikein, riippuu paljolti käyttäjästä ja siitä puhutaanko polttoainepellesteistä vai suojakuoresta.

Suojakuoresta puhuttaessa onnettomuuskäytöksen parantaminen on suunnittelun keskiössä. Tähän yhteyteen sopisi siis paremmin "Accident Tolerant Fuel". Joka tapauksessa tässä kirjoituksessa puhutaan ATF-suojakuorista viitaten edistyksellisiin suojakuoriratkaisuihin, joilla parannetaan erityisesti polttoaineen onnettomuuden aikaista käytöstä. Kirjoitus perustuu lyhyeen julkaisuun Suomalaisen Ydintekniikan Päivillä 2019 (SYP2019) [1] ja OECD/NEA:n pitkähkön raporttiin aiheesta [2].

Suojakuorikandidaatit kevytvesireaktoreihin

Sen lisäksi että ATF-suojakuorten tulisi kestää pidempään ehjinä onnettomuusolosuhteissa, niiden tulisi tarjota myös yhtä hyvät tai jopa paremmat ominaisuudet käytön aikana kuin Zr-suojakuoriseokset. Yleisesti suojakuorella on kaksi tehtävää. Sen tulee eristää polttoaine ympäröivästä materiaaleista samalla oman hyvän läpinäkyvyyden neutroneille. Tämän lisäksi suojakuoren tulee johtaa hyvin lämpöä.

Näihin vaatimuksiin sisältyy luonnollisesti maltillinen korrosio ja suotuisat mekaaniset ominaisuudet sekä normaaleissa että onnettomuustilanteissa. Korkean lämpötilan korrosiokäytöstä lukuun ottamatta on haasteellista löytää parempaa kandidaattia perinteisten Zr-seosten rinnalle. Esittelen tässä kaksi suosituinta kandidaattia.

Sen sijaan, että yritettäisiin korvata Zr-suojakuori jollain muulla materiaalilla, on korkean lämpötilan korrosio-ongelmaa yritetty ratkaista pinnoittamalla Zr-suojakuori noin 20 µm:n Cr- tai Cr/Al-seoksella. Korrosiovastustuskyvyn lisäksi pinnoite pienentää suojakuoren hankauskulumista ja vähentää myös sen virumista ja palloontumista onnettomuustilanteissa. Huolimatta pinnoitteen lupaavista ominaisuuksista

lopullinen käytös onnettomuustilanteissa on vielä selvityksen alla. Avoimia kysymyksiä löytyy esimerkiksi pinnoitteen laminaarisen käytöksen suhteen. Vaikka pinnoite on venyvä, se saattaa säröytyä. Tätä ei täysin osata ennustaa.

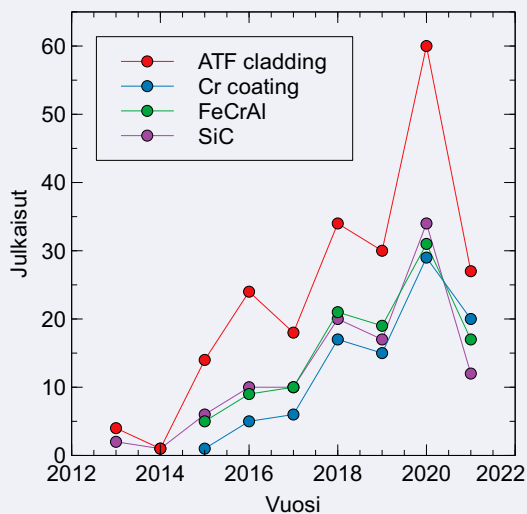
Rauta-kromi-alumiiniseosta (FeCrAl) pidetään myös lupaavana kandidaattina erityisesti sen onnettomuuskestävyyden takia. FeCrAl sopii myös hyvin nykyisiin vesikemioihin BWR- ja PWR-laitoksissa sen hyvän korrosiokestävyyden ansiosta [3]. FeCrAl:lla on kuitenkin suurempi neutronivaikutusala kuin Zr:lla, ja sen takia suojakuoren tulisi olla ohuempi kuin perinteisten suojakuorien. Tämän lisäksi FeCrAl-suojakuoresta saattaa aiheutua enenevässä määrin tritiumpäästöjä jäähdytteeseen. Hyvälaatuisen FeCrAl:n valmistus ja sen hitsaaminen on haastavaa.

On hyvä tiedostaa, että uusia suojakuoriratkaisuja kehitetään myös nopeiden neutronien reaktoreihin. Suojakuorten tulee kestää myös näissä reaktoreissa korkeita lämpötiloja, säteilyä ja korrosiota. Teräksiä on käytetty monissa laitoksissa. Ne kuitenkin turpoavat säteilyn vaikutuksesta ja niiden mekaaniset ominaisuudet heikkenevät [4]. Materiaaleiksi näihin olosuhteisiin on ehdotettu uudentyyppisiä korkean entropian metalliseoksia (high-entropy alloys), joissa ei ole yhtä dominoivaa alkuainetta. Sen sijaan neljä tai suurempi määrä alkuaineita muodostaa seoksen suurin piirtein samassa suhteessa [5].

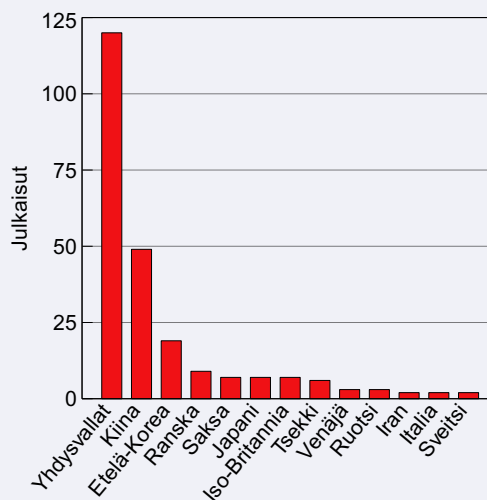
Vastaavia materiaaleja voisi harkita myös kevytvesireaktoreille, mutta olosuhteet ovat materiaalien kannalta erilaiset sekä neutronisäteilytyksen että lämpötilan osalta. Myös vaatimukset neutroniläpinäkyvyyden osalta ovat erilaiset.

Uusien suojakuorten käytöksen mallintaminen

Uusien homogeenisten materiaalien tapauksessa mallinnuksen pohjana voidaan soveltaa jo olemassa olevia polttoainekoodeja ja muokata malleja vastaamaan uusien materiaalien koetuloksia. Näin voi-



Kuva 1. ATF-suojakuorten esiintyvyys julkaisuissa tyypeittäin. "ATF cladding" on kaikkien julkaisujen määrä, joissa esiintyy "ATF", "cladding" ja "nuclear". Tämän haun sisällä tehtiin tarkentava haku tyypeittäin. Haussa käytettiin Scopuksen julkaisutietokantaa ja analyysityökalua.



Kuva 2. ATF-suojakuorten esiintyvyys julkaisuissa maittain. Haussa käytettiin hakusanoja "ATF", "cladding" ja "nuclear". Haku tehtiin käyttämällä Scopuksen julkaisutietokantaa ja analyysityökalua.

daan erityisesti menetellä FeCrAl-suojakuoren kohdalla ja kehitystyötä on tehty esimerkiksi FRAPCON/FRAPTRAN, FUPAC, FALCON ja TRANSURANUS-polttoainemallinnuskoodeissa.

Pinnoitetut suojakuoret tuovat lisähaastetta mallinnukseen. Ideaalisessa tapauksessa materiaalien monimutkaisempi geometria pitäisi ottaa huomioon joko 2D- tai 3D-mallinnuksella. Elementtimenetelmää hyödyntäviä työkaluja on jo olemassa polttoainemallinnukseen, kuten BISON ja ABAQUS, mutta tarkkojen mallien kehitystyö on vielä vaiheessa.

Suurin hidaste mallien kehitykselle on kuitenkin sopivan kokeellisen datan puuttuminen tai sen vähyys. Samalla kun koereaktorien määrä laskee, tarve uusien materiaalien testaamiselle kasvaa. Materiaalitestaukset reaktoriolosuhteissa eivät kuitenkaan ole ainoa tie mallien kehitykselle. Enenevän laskentakapasiteetin ansiosta polttoaineen ominaisuuksia voidaan tutkia myös moniskaalamallinnuksella lähtien atomitasoin ilmiöistä. Atomi- ja mikrotason laskennan tueksi sopii hyvin reaktorin ulkopuolella tehtävät erilliskokeet [6].

Tutkimustrendit ja tulevaisuuden näkymät

Luodaan vielä katsaus tulevaan tarkastelemalla menneitä tutkimustrendejä. Kuvassa 1 on esitetty ATF-suojakuorijulkaisujen määrä vuosittain. Kuvassa on myös esitetty tulokset tarkennetuista hauista suojakuorityypeittäin. Valitsin tyypeiksi Cr-pinnoitteet, FeCrAl:n, ja SiC:n. Haussa käytin Scopuksen julkaisutietokantaa ja analyysityökalua. Julkaisujen perusteella näyttäisi, ettei mikään valituista kandidaateista ole se kaikkein suosituin. Näyttäisi myös, että monessa julkaisussa puhutaan useammasta kuin yhdestä kandidaatista.

Kuva 2 esittelee ATF-suojakuorijulkaisujen määrän maittain. Yhdysvallat on selvästi kärjessä ATF-suojakuoritutkimuksessa julkaisujen määrällä mitattuna. Mutta missä on Suomi? Eikö vauhti riitä? VTT:llä tehdään pienessä mittakaavassa ATF-suojakuoritutkimusta ja Suomi on mukana esimerkiksi IAEA:n ATF-TS-tutkimusprojektissa [7], jossa testataan sekä kokeellisesti että mallinnuksen keinoin ATF-ratkaisuja. Toistaiseksi Suomen osalta tähän julkaisuhakuun tarttui vain edellisen

IAEA:n ACTOF-projektin round robin -testit julkaistuna Top Fuel 2019 -konferenssipaperissa.

Viitteet

- [1] J. Heikinheimo, C. Huotilainen, R. Pohja, M. Ivanchenko and H. Loukusa, Suomalaisen Ydintekniikan Päivät – SYP2019, Helsinki.
- [2] OECD/NEA, NEA No. 7317, 2018.
- [3] R.B. Rebak, N.R. Brown and K.A. Terrani, 17th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems – Water Reactors, 2015, Ottawa, Ontario.
- [4] C. Cawthorne and E. J. Fulton, Nature 216 (1967) 575-576.
- [5] F. Tuomisto et al., Acta Materialia 196 (2020) 44-51.
- [6] OECD/NEA, NEA/NSC/R/(2015)5, 2015.
- [7] <https://www.iaea.org/projects/crp/t12032>, accessed 24.8.2021.

Kirjoittaja



TKT Janne Heikinheimo

Erikoistutkija
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
janne.heikinheimo@vtt.fi

Use of 3D Models in Nuclear Power Plant Projects

Caetano Porto, Peter Gáj, Václav Vejborný
Fennovoima Oy

Three-dimension (3D) modelling has been getting more and more popular for nuclear power plant (NPP) projects because of their complex design. Throughout decades, designers have been using different methods and technologies to harmonize large volumes of reference information used in the NPP projects. With evolution of computer aided design (CAD), the use of three-dimension models tends to expand. This article describes how it has been adopted and presents how the 3D modelling is used in Fennovoima Hanhikivi 1 project.

Kolmiulotteinen (3D) mallinnus on saavuttanut ydinvoimalaprojekteissa kasvavaa suosiota johtuen laitojen monimutkaisesta suunnittelusta. Läpi vuosikymmenien suunnittelijat ovat käyttäneet erilaisia menetelmiä ja tekniikoita sovittamaan yhteen ydinvoimalaprojekteissa käytettyä suurta referenssitiedon määrää. Tietokoneavusteisen suunnittelun (CAD) kehittyessä kolmiulotteisten mallien käyttö on laajentunut. Tässä artikkelissa kuvataan, kuinka mallien käyttö on kehittynyt, ja esitellään esimerkkitapaus mallin käytöstä Fennovoiman Hanhikivi 1 -projektissa.

Initially CAD was limited to producing drawings similar to their hand drafted equivalent, and the only way to present NPP model in 3D was a physical polymer mock-up. Such mock-up was important as it revealed design constraints in terms of construction, installation, and operation, which could have otherwise been overlooked in a traditional 2D de-

sign. Some of those mock-ups still exist and are used for training or are displayed in educational centers for public demonstration of physical characteristics of the NPP.

Advances in computer hardware and software have replaced the physical mock-up with what is nowadays known as building information model (BIM). This type of 3D model does not only display details of component geometry, but also allows integration with a large number of attributes such as component classification, functional and material characteristics, and links to database. It can be used as a powerful source of design as it reveals a wide range of design aspects.

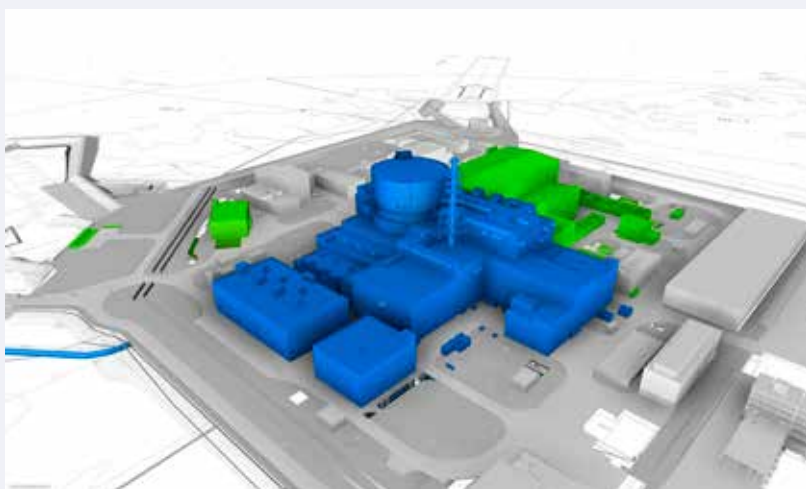


Figure 1. General Layout 3D model with nuclear island in blue and turbine island in green.

3D Model in Basic Design and Licensing

For the Basic Design stage, 3D modelling helps to integrate and harmonize civil structures together with systems of various disciplines such as process, HVAC, electrical and others. An integrated 3D model involves all the relevant system components and enables experts to evaluate design in an in-depth manner. Its database contains object attributes and tools such as filtering, color grading profiles, clash detection and commenting.

In addition, integrated 3D model allows experts to track changes with track/compare functions, timestamps, or advanced statistics generation. Thanks to its unrivalled context visibility, the model is widely used as an input for analyses,

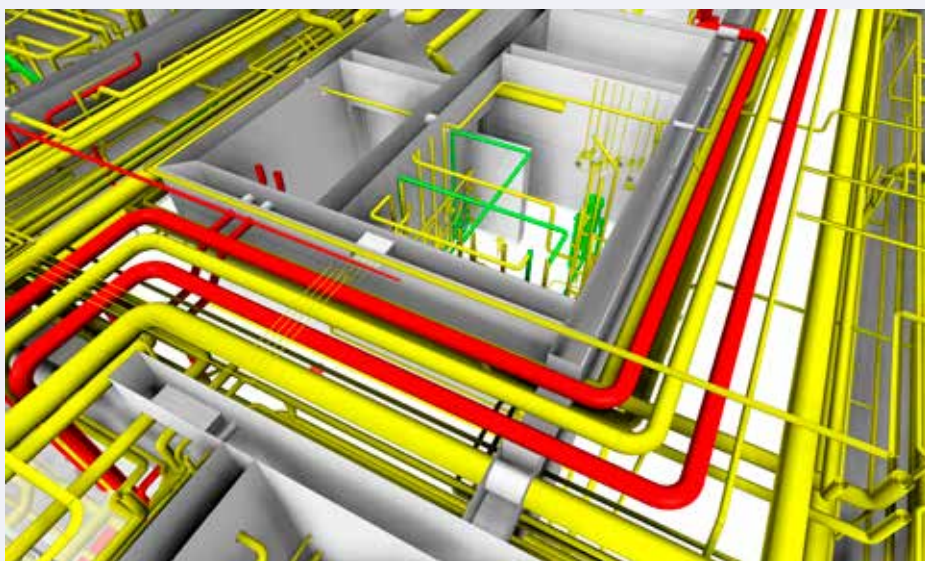


Figure 2. Colour grading by seismic classification where a component failure shall not compromise integrity of systems required to operate in a seismic event. Red = seismic class S1, Yellow = seismic class S2A, Green = seismic class S2B.

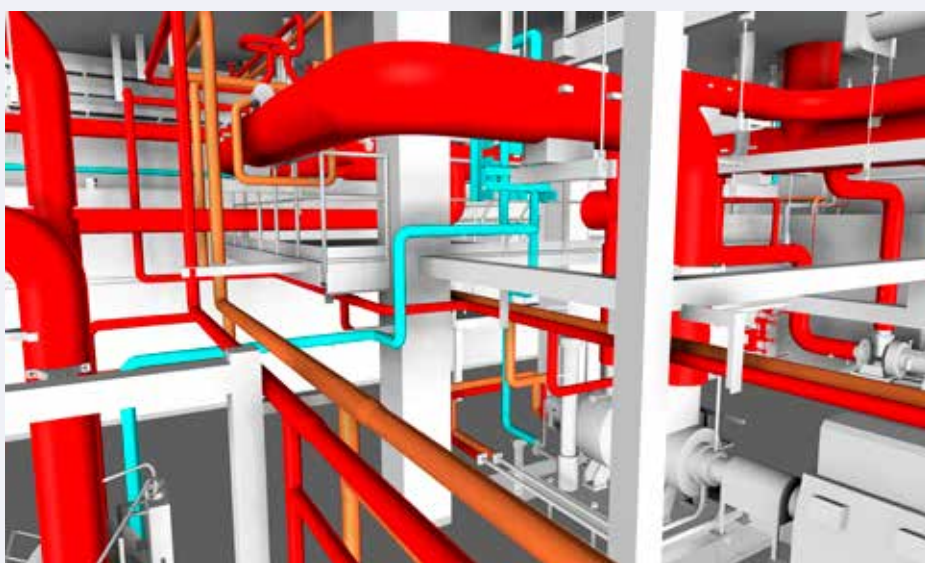


Figure 3. Colour grading by pipeline operating temperature where high temperature needs thermal insulation for minimizing heat loss and/or prevent injuries to plant personnel. Red = operating temperature over 60 degrees, Brown = operating temperature between 20 and 60 degrees, Turquoise = operating temperature below 20 degrees.

such as flooding analysis, replacing 2D drawings. Figure 1 shows an overview of the 3D model used in Hanhikivi 1.

The functionality of 3D model is further expanded with virtual elements. For example, equipment transport routes or passageways allow specialists to evaluate aspects which were previously limited, such as maintainability or human factors.

In Finland 3D model is part of the licensing phase and shall present buildings, systems, structures, and components necessary for assessing the layout design of the plant, implementation of separation requirements

and protection of the plant against internal and external hazards as required per YVL B.7 [1].

The efficient use of 3D model in the licensing phase may help companies to avoid substantial design modifications when the project progresses to construction, installation, and commissioning. It is a powerful tool to harmonize the design. When supported with relevant documentation, it allows experts to have a realistic view of the future plant and anticipate design flaws that could occur.

3D model helps to evaluate how hazards such as fire, pipe rupture, heavy load drop, and flooding may affect the design in terms of safety. Functional and structural analyses are performed to ensure that risks related to hazards are identified and mitigated. For instance, such analyses verify that redundant components performing safety functions are physically separated into different rooms and that safety functions performed by these components will not be compromised by the hazard.

When it comes to Hanhikivi 1 3D model, the general layout and most buildings are modelled by the project general designer JSC Atomproekt in Saint Petersburg. It is a comprehensive model for a project of this magnitude. It includes all the components which require space during construction and installation and is divided to civil structures and process systems.

The civil part includes physical objects such as walls, columns, slabs, doors, embedded parts, and facade. It also includes virtual objects such as escape routes and rooms.

The process part gets input from system documentation and contains systems relevant for safety or layout. For each system, the model shows all the major components such as tanks, pumps, heat exchangers, electrical transformers, I&C cabinets, filters, pipe runs, cable trays, ventilation ducts and others. It also includes virtual objects such as maintenance area, maintenance routes, equipment laydown areas, fire damage zones, etc.

Each of these objects has a specific selection of attributes which can be inspected by selecting them or applying a color grading profile. Attributes allocated to physical or virtual objects makes it possible to access various aspects of the design and review it with greater efficiency. Figure 2 and Figure 3 show examples of appearance profiles based on object attributes.

The model supports interdisciplinary review of various design aspects. Experts evaluate such areas as hazard protection, radiation safety, maintenance, fire safety, decommissioning, occupational safety, etc. and use certain criteria to assess each of them. The whole process also brings efficiency to the project as 2D drawings and specifications are automatically produced from the 3D model reducing the time and costs of producing drawing revisions.



Figure 4. 60 cm tall and fully disassembled Hanhikivi reactor hands-on model printed in 1:35 scale.

Detail Design, Construction, Installation and Commissioning

At the Detail Design stage, more specific information is inserted into the integrated 3D model. It is possible to reach a higher level of details and extract high-quality manufacturing and installation drawings once the discipline harmonization in the model is over. Since the Detail Design phase often overlaps with construction, regular model updates are crucial to maintain reliability, as the model is generally used for space planning and coordination.

The installation and Commissioning phase brings a challenge of transferring the readiness status of construction and installation, as well as the redline markups, into the 3D environment. After the task is done successfully and integrated with the database of the physical progress of the plant, the result is a 3D model with the as-built state of all the systems and structures physically present. It is then ready to be used during operation, and potentially also during decommissioning. With the advance in laser scanning methods, a potential use of comparing construction status and the reference 3D model, supporting the accuracy of the as-built model, exists.

Operation and Training

The operational phase of the project brings new opportunities on how to use 3D model. It can support the planning of scheduled activities on maintenance and repair of NPP elements by visualizing tasks, sequence planning, identifying space collisions or laydown areas. It is also a great tool to support the design and implementation of plant modifications, for example those improving safety during plant lifetime, especially in areas with limited access.

When the information model based on the integrated 3D model is built and maintained, additional awareness of the complex state of the NPP unit can be received as it can house many current parameters from NPP operation information system together with retrospective information. The number of overlapping information layers is unlimited [2]. They could include not only the parameters of elements covered



Figure 5. Fennovoima employee exploring VR capabilities in the virtual backup diesel generator building.

by the automated technological process control system, but also those collected by the engineering staff.

Everyone working in a nuclear power plant must be qualified for all the tasks in their responsibility areas. Such qualification may take from few days up to several years. We live in an era of incredibly fast evolution of information technologies, which brings both benefits and challenges to our ways of learning.

3D model has several applications in the training process and in Fennovoima we aim to fully integrate it in training. At the current stage of Hanhikivi 1 project, we focus on exploring and developing proof-of-concept projects, such as high-quality renders, 3D printing and virtual reality.

Renders are images produced from the native 3D model and further elaborated and enhanced with information needed in training. Such information may include color grading, flow arrows, parameters, component names, etc. Such images can then be used for presentations, textbooks, web-based training materials, posters, and wallcharts in training premises. Similar to images, live animations can be prepared for training purposes.

3D printed hands-on models and mock-ups are efficient in several training cases. Plant BIM model can be used as an initial input for 3D printing of physical hands-on models in any scale when supplemented by specific 3D modelling techniques. The plant BIM model serves as the initial reference geometry that is further complemented with details. Figure 4 shows a 1:35-scale 3D-printed, fully disassembled, 60 cm tall Hanhikivi reactor hands-on model.

Virtual Reality (VR) is a rapidly growing technology that has already carved a niche in training applications. Virtual reality can allow to see power plant premises where operation and maintenance tasks are carried out. This can increase works safety, considering the radiation situation and other hazards. Since maintenance activities need to be done in a relatively short period of time during the refueling outage once a year, VR allows trainees to prepare for this by learning and mastering multiple types of tasks in a safe training environment anytime and anywhere.

Another major use case for virtual reality is training for emergency, where trainees can safely practice response to various emergency situations which would be difficult and expensive to simulate in real life.

These situations include response to unexpected events and alarms such as fires, radiation, and contamination. Figure 5 shows a trainee practicing the assembly of components in a diesel generator building.

Fennovoima is currently researching and developing the pilot VR solutions for training in cooperation with Centria University of Applied Sciences. A large part of the research is dedicated to the workflow between the BIM model and VR engine (Unity). An effective way to import the geometry in the VR engine is crucial to allow effective update when design is modified. It also needs to be reflected in training.

Decommissioning

A well-maintained 3D model can continue its life up to the decommissioning phase where it can be used for verification of the as-built state, estimation of decommissioning costs and support the decommissioning strategy and plan. Based on 3D model, the advanced software techniques will be used for computer simulations of decommissioning tasks

to avoid collisions and non-optimal processes which might cause risks of accidents or radiation exposure for personnel [3].

The future of 3D modelling

The full potential of 3D modelling in NPP design and operation is yet to be discovered. By adopting advanced tools, many activities could be done in a more effective way or get automated. Building and maintaining the integrated 3D model already plays a significant role and has links with disciplines like training, 3D printing and virtual reality. It could facilitate the progress in those areas, too.

At the same time, feedback from other disciplines could have an impact on the way how 3D modelling is done today. At present we are not ready to anticipate all the possibilities or predict the quick development of numerous activities in a very complex environment. It can be said that the future will bring even more applications for 3D modelling that could have been seen as science fiction years ago.

References

- [1] Radiation and Nuclear Safety Authority. Regulatory Guide on nuclear safety and security B.7 - Provisions for internal and external hazards at a nuclear facility. 2019. Available at <https://www.stuklex.fi/en/ohje/YVLB-7>
- [2] Vitaliy Kononov, Vladislav Tikhonovsky, Pavel Novikov, Nikolay Salnikov: The NPP Unit 3D Engineering Model-Based Application. Available at https://neolant.com/press-room/index.php?ELEMENT_ID=1314
- [3] Joseph Boucau, Tomáš Klein: Innovative D&D at Bohunice V1. Available at <https://www.neimagazine.com/features/featureinnovative-dd-at-bohunice-v1-7027178/>

Writers



Caetano Porto
Layout Manager
Fennovoima Oy
caetano.porto@fennovoima.fi



Peter Gáj
Layout Design Engineer
Fennovoima Oy
peter.gaj@fennovoima.fi



Václav Vejborný
Simulator instructor
Fennovoima Oy
vaclav.vejborny@fennovoima.fi

Täällä kulttuuri- ja tapahtuma-ala sekä tiede ja taide, kuu(nte)leeko hallitus?

KESÄN ALUSSA valtakunnan paraatipaikalla eli Kansalaistorilla Eduskuntatalon ja Oodi-kirjaston välisellä alueella toteutettiin nyt maamme jo 1,5 vuotta kestäneen korona-ajan kiistattomasti vaikuttavin ja merkillisin mielenilmaus. Sen vaikuttavuudesta ja sisällöstä luki ja saa parhaan käsityksen, jos ja kun hän siirtyy nettiin seuraamaan elävää videokuvaa ja uutistekstiä esimerkiksi haulla ”kulttuurialan mielenilmaus”.

Valittavina on maan johtavien mediatoimijoiden raportteja ja analyysejä tapahtumasta. Mielenilmaus toteutettiin epäilemättä taktisista syistä juuri ennen kuntavaaleja. Toinen, myöskin Suomen oloissa merkittävä mielenilmaus, Elokapina-liikkeen ”Mannerheimintien valtaus”, taasen toteutettiin heti kuntavaalien jälkeen, yhtä lailla epäilemättä myös taktisista syistä.

Molemmat mielenilmaukset tottakai hyvin huomattiin ja epäilemättä ne tuottivat järjestäjänsä tarkoittamaa huomiota ja saattavat tuottaa osin samankin suuntaista sisällöllistä tulosta. Elokapina-liikkeestä ehkä joskus myöhemmin tällä palstalla, joskin siinäkin tapauksessa kuitenkin ensin käyden harjoitusväitteilyä olusilla kulmakuppilassa.

Mutta hallituksen edesottamukset kulttuuriväen tempauksen suhteen, sitä ennen ja sen jälkeen, on yhteiskunnan kokonaisedun puutteissa tässä syytä ottaa nyt tarkemman luupin alle, niin kuin turvallisuusfilosofin näkökulmasta asioita näen. Aikaa on kulunut riittävästi, jotta asioitakin on ehtinyt tapahtua, meillä ja maailmalla.

Olenaisia seikkoja tässä tarkastelussani ovat hallituksen kehysriihen toukokuussa ja budjettiriihen syyskuussa päätökset ja kesän aikainen poliittinen keskustelu Suomessa kulttuuri- ja tutkimusalan tiimoilla. Yhtä olennaista on myös ottaa huomioon, mitä muuta tapahtui maailmalla. Suomi vietti kesälomaa ja seurasi keskittyneesti televisioiden ääressä jääkiekkoa, jalkapalloa, olympialaisia, paralympialaisia, lentopalloa, formulaa, rallia ja muuta urheiluviihdettä. Covid19-pandemia kuitenkin jatkui, ja kuin yllätyksenä kaikille ja kaikkialla Afganistanin kriisistä tuli elokuun juttu ylitse muiden.

KEHYSRIIHESSÄ TURVE VOITTI TUTKIMUKSEN. Niin hallituksen päätös voidaan pelkistää, jos se ilmaistaan provosoivan kärjistetyksi. Sen jälkeen vaihtui tiede- ja kulttuuriministeri, ja keltanokka-vastuuministeri Antti Kurvinen joutui parin päivän valmistautumisajalla kiukkuisen kulttuuriväen eteen taiteilemaan vastustaan heille selittäessään hallitusviisikon päätöksiä.

Pohjalainen oikeusoppinut suhtautui stoalaisella tyyneydellä ja luottamuksella siihen, että hallitus kyllä suoriutuu oikein ja hyvin vaikeasta tilanteestaan. Kurvisen kiemurtelevalle ilmaisulle hymyiltiin yleisesti pitkin kesää, ei niinkään hänen viestinsä myönteistä sanomaa vaan sitä, että nähtiin pohjalaisuus ja stoalainen tyyneys epäuskottavammaksi yh-



distelmäksi kuin kamelin meneminen neulan-silmästä.

Hallitus vietti kesälomansa, kansa eli ja oli vaihtelevassa määrin lomalla ja viihteellä, Afganistanin kriisiytyi, eduskunta palasi töihin ja budjettiriihestä hallitus marssi ulos ilosanomalla, että menoleikkaukset tutkimuksesta on toistaiseksi torjuttu. Koronarajoituksistakin hallitus uskoo rokotuskattavuuden riittävästi noustessa päästävän lähes kokonaan eroon loka-marraskuun vaihteesta tai pian sen jälkeen. Hienoja uutisia sen vastapainoksi, että syksy saa ja sen myötä sateet, tuulet ja syksyn ja talven kylmät.

Oppositio ei tietystikään purematta niele hallituksen sanomaa, sillä valtion velka vain kasvaa ja työllisyystoimet viivästyvät, vaikka talous kasvaa. Uusin kulttuurialan julkisten protestitempauksien oli hakea sankoin joukoin sosiaali- ja terveysministeriön strategijahtajan määräaikaista virkaa, heillä kun on ajatuksia hyväksi strategiaksi.

Aika näyttää, kuinka kulttuurin ja tutkimuksen tarina jatkuu, sillä selvästikin se on vielä kesken tämän pakinan mennessä lehden myötä painoon. Tarinan tulevien jatko-osien väliajoilla kansan rakastama näyttelijä Esko Salminen voisi lausua runoja.

Hymyilevä Apollo on tunnetusti Salmisen bravuureita, Eino Leinoa.

Varmaan yhtä vaikuttavasti ja vakuuttavasti Salminen voisi esittää muutakin Eino Leinin ja muiden runoutta. Ajankohdalle osuva olisi Leinin runo Aleksis Kivi. ”Syntyi lapsi syksylä, ..., eli vain syksystä jouluuun, ...”. Taitavaa synkistelyä, suomalaista mollia ja melankoliaa, mutta päättyy kuitenkin onnellisesti: ”Voi oikein olla. Ehk’ koetin ma, sun kansaas liiaksi tuulilla. Taas kukat kummuille nouskoon!”

VALTION VUOTUISISSA BUDJETEISSA on rakenteellisia, eettisiä ja moraalisia haasteita ja ongelmia. Missäpä inhimillisessä ei sellaista ole, kun on paljon yhteistä hyväksi! Hakematta tulee ongelmakohtina mieleen, kuinka kulttuuria ja tutkimusta rahoitetaan merkittävässä määrin valtion budjetin ulkopuolisin veikkausvaroin, alkoholin myynnistä saaduilla verotuloilla hoidetaan alkoholihaittoja ja liikenteen kuluja ja tiestön korjauskustannuksia katetaan liikennesakoilla. Vähäväkinen kansa on kokoaan suuremmalla suhteellisella osuudella kustannusten maksamiehenä. Kurvisella ja kumppaneilla työ jatkuu epäkohtien poistamiseksi.

Ajatusleikkiä voisi käydä sellaisesta, että kulttuuriala hiipuisi ja näivettyisi. Kuinka kävisi, jos ei olisi orkestereita, kuoroja, teattereita? Tai jos urheilua, liikuntaa ja kansanterveyttä ei tuettaisi? Missä merkeissä ihmiset, lapset, nuoret ja vanhemmat, miehet ja naiset, kohtaisivat toisensa?

Taide, liikunta, harrastukset yhdistävät, tiede ja tutkimus myös vaikkakin eri mekaniismein. Korona-aika on selkeästi osoittanut, että kotiin television, radion, netin, kännykän, kirjojen, äänikirjojen ynnä etätyön ääreen on helppoa jämähtää, jos kodin ulkopuoliset virikkeet ja mahdollisuudet jäävät vähäisiksi.

Tutkimuksen yhteydessä puhutaan myös niin sanotusta turhasta tutkimuksesta. Mitähän se voisi olla? Monenlaista näkemystä on esitetty. Kuten että turhaa olisi esimerkiksi, jos tutkimus tuottaa sellaista tietoa, ettei sitä voi hyödyntää tai sen käytöstä ei voi saada taloudellista tuottoa. Sitähän valtaosa tutkimuksesta on aina ollut ja enenevässä määrin sitä on varsinkin tulevaisuudessa.

Sillä ajattelulla esimerkiksi ydinenergiatutkimus on jo pitkään ollut turhaa ja tehotonta. Ei kai nyt sentään niin voida väittää? Mutta on toki kritiikkikin paikallaan tässä yhteydessä. Tutkimuksen sisältöön voidaan vaikuttaa, sitä voitaisiin suunnata uusiin sovelluksiin. Liiallisen jäykkiä säädoksiä voidaan tutkimuksella joustavoittaa. Yhteistyötä alan toimijoiden, yritysten ja yhteisöjen kesken tulisi lisätä, uusia teknologioita ja käytäntöjä tulisi määrätietoisesti kehittää.

Ilman tiede- ja tutkimusyhteisöjen ja terveystieteiden yritysten kansainvälistä yhteistyötä turvallisten koronarokotteiden kehitykseen olisi kulunut hyvinkin vuosi pari nykyistä pidemmän aikaa. Voi vain arvailla, mitä sellainen viivästys olisi merkinnyt maailmalle.

Afganistanissa eri tahot ovat paiskineet töitä vuosikymmenien ajan terrorismin kitkemiseksi ja demokratian juurruttamiseksi maahan. Vaan turpiin tuli. Tilausta on nyt uudelleen käytännöllille. Sotilaallisten pakko-toimien sijaan voitaisiin edistää uskonnollisten yhteisöjen vuoropuhelua, keskinäistä ymmärrystä ja kansainvälisten avustusjärjestöjen toimintaedellytyksiä.

VAIKKA MAAILMALLA KUOHUU, MEILLÄ SUOMESSA on kuitenkin jaksettu kohtuullisen hyvin ja kärsivällisesti olla ja odottaa parempia aikoja. Kansan luonteessa ja kulttuurissamme on sellaisia erityisiä piirteitä, että kunnioittamme esivaltaa kaikkien mahdollisimman yhteiseksi parhaaksi.

Elokuun lopulla virisi hauskaa ja viihteellistäkin keskustelua presidenteistämme. Patsaat ja taulut saivat vaihtelevasti kyytiä ja kiitosta ja Suomeen saatiin uusi ”ensimmäinen koira” Australiasta, tenterfieldinterrieri Osku.

Itseäni ilahdutti eniten lukemani tarina Mannerheimista. Sodan aikaan sattui kerran Mikkelin apteekin kulmalla Mannerheimia vastaan savolaismummo, joka Marskin nähdessään lyykähti syvään ja kysyi: ”Ihanko ite?” Marski kumartui taputtamaan mummoa ystävällisesti olalle ja vastasi: ”Ihan ite.” Vähillä sanoilla pärjättiin jo silloin ja näin ”small talk”-aikaan jos kohta vielä paremmin.

Turvallisuusfilosofi



Kulttuurialan mielenosoitus Kansalaistorilla kesäkuussa 2021 (kuva: Petteri Bülow, Yle).

Palautusosoite:

Suomen Atomiteknillinen Seura
PL 78
02151 ESPOO

Osoitteenmuutokset:

sihteeri@ats-fns.fi



KANNATUSJÄSENET

A-Insinöörit Civil Oy

**Pohjoismainen
Ydinvaruutuspooli**

TVO Nuclear Services Oy

Fennovoima Oy

Pohjolan Voima Oyj

Voimaosakeyhtiö SF Oy

FinNuclear ry

Posiva Oy

Westinghouse

**Fortum Power
and Heat Oy**

**Teknologian
tutkimuskeskus VTT Oy**

Platom Oy

Teollisuuden Voima Oyj