

ATS

3-4|2018

Vol. 47

YDINTEKNIikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

Talvivaaran kaivoksen uraanin talteenotto

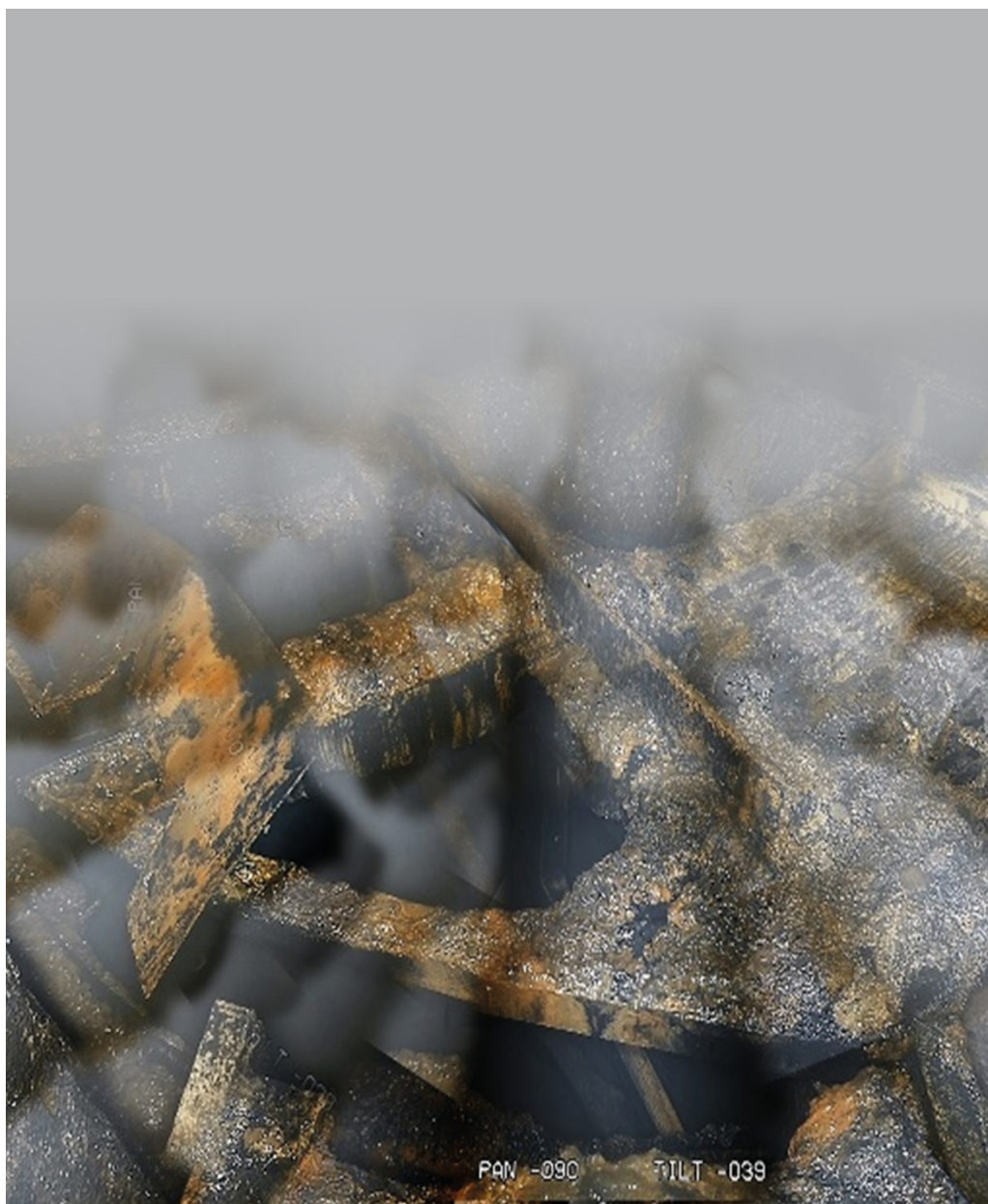
Syysseminaarista peruuntunut Terrafamen esitys sai oman jäsen-tilaisuutensa.

Mitä uutta tiedetään Fukushimasta?

VTT osallistui OECD:n kansainväliseen tutkimusprojektiin, jossa selvitettiin onnettomuuden kulkua laskentamallien avulla.

IPCC:n erikois- raportti 1,5°C:n lämpenemisestä ja ydinvoima

Kaikissa skenaarioissa ydinvoiman määrä kasvaisi vuodesta 2010 jo vuoteen 2030 mennessä.



Julkaisija / Publisher

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

Johtokunta / Board**Puheenjohtaja / President**

DI Tuomas Rantala
puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja / Vice President

DI Toivo Kivirinta
toivo.kivirinta@fortum.com

Sihteeri / Secretary General

FM Antti Rätty
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Pekka Kupiainen
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

Jäsenet / Board Members

DI Antti Paajanen
antti.paajanen@fennovoima.fi

TkT Jaakko Leppänen
jaakko.leppanen@vtt.fi

TkT Vesa Tanskanen
vesa.tanskanen@lut.fi

Toimihenkilöt / Functionaries**ATS Young Generation**

DI Antti Lammela
antti.lammela@fennovoima.fi

**Kansainvälisten asioiden sihteeri /
International Affairs**

DI Henri Ormus
henri.ormus@fennovoima.fi

Women in Nuclear Finland

FM Eveliina Muuri
eveliina.muuri@helsinki.fi

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**

DI Anna Korpinen
anna.korpinen@vtt.fi

**Tieteellinen päätoimittaja /
Scientific Chief Editor**

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

**Ajankohtaispäätoimittaja /
Topical Chief Editor**

DI Tapani Raunio
tapani.e.raunio@fortum.com

Toimitussihteeri / Lay-out Editor

Katariina Korhonen
Suunnittelutoimisto Creatus
katariina@creatus.fi

Toimitus / Editorial Staff

DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@welho.com

DI Lauri Rintala
lauri.rintala@fennovoima.fi

Toimituksen yhteystiedot**ATS Ydintekniikka**

c/o Anna Korpinen
PL 1000
02044 VTT
p. 040 159 1156

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 seuran 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.

Tosiasiat täytyy myöntää

ATS YDINTEKNIIKAN JULKAISUAIKATAULU on tuottanut haasteita jo pitkään. Lehteä tehdään vapaaehtoisvoimin oman työn ohessa. Valitettavan usein lehden teko jää viimeiselle sijalle asioita priorisoidessa. Olen ollut ATS Ydintekniikan vastaava päätoimittaja nyt neljä vuotta. Muutamana vuonna julkaisuaikataulu tuntui olevan jotenkuten hallinnassa, mutta tänä vuonna jäimme pahasti jälkeen. Vuoden 2017 viimeinen numero ilmestyi samaan aikaan kuin vuoden 2018 ensimmäisen numeron olisi jo pitänyt olla valmis.

Olen kuitenkin koko vuoden ollut toiveikas, että saamme julkaisuaikataulun kirittyä kiinni. Toimituksella on ollut paljon juttuideoita ja moni onkin luvannut kirjoittaa artikkelin aiheesta, jota olemme ehdottaneet. Lupauksen saattaminen valmiiksi tekstiksi on kuitenkin tuntunut vaativan paljon enemmän aikaa kuin aiemmin. Moni viime vuoden aikana pyydetty artikkeli odottaa edelleen valmistumista.

Toimituksella ei ole oikein muita keinoja vastata tähän haasteeseen kuin muistutella kirjoittajia. Valitettavan usein ainoa keino hoitaa tämä on sähköposti, joka on liian

helppo sivuuttaa, varsinkin jos se tulee itselle tuntemattomalta henkilöltä. Toimitus tarvitsisi enemmän väkeä joka voisi käydä koputtamassa olalle ja kysyä miten homma etenee. Olemme myös todenneet, että juttuideoita, ja jopa niitä -lupauksia, täytyy olla vähintään puolet enemmän kuin mitä seuraavaan numeroon olisi tarve.

Loppuvuodesta tuli aika myöntää tosiasia: enää ei ollut mahdollista julkaista kahta puuttuvaa vuoden 2018 numeroa järkevässä aikataulussa. ATS:n johtokunta teki toimituksen esityksen perusteella päätöksen, että lehden viimeiset numerot julkaistaan tuplanumerona 3–4/2018, joka on nyt käsissä. ATS Ydintekniikka on monelle seuran jäsenelle tärkein vastine jäsenmaksulle ja kun jotain luvattua jää saamatta, se kuuluu korvata. Olemme pyrkineet kasaamaan tähän tuplanumeroon niin paljon materiaalia kuin se järkevässä aikataulussa on ollut mahdollista. Lisäksi tämä mahdollistaa normaaliin julkaisuaikatauluun palaamisen vuonna 2019, jonka uskon monelle olevan tärkeää. Toivon, että ATS:n jäsenistö ymmärtää ja hyväksyy tehdyn päätöksen.



Toinen seikka jonka osalta on tullut aika myöntää tosiasiat, on oma roolini vastaavana päätoimittajana. Valitettavasti minulla ei ole mahdollisuutta panostaa lehteen yhtä paljon kuin muutama vuosi sitten. Lisäksi oma verkostoni alkaa olla läpikaluttu juttupyynnösten suhteen. En haluaisi kuitenkaan lopettaa epäonnistumiseen. Lisäksi koen, että minulla on velvollisuus etsiä itselleni seuraaja. Luotsaan siis lehteä eteenpäin, kunnes meillä on uusi vastaava päätoimittaja. Kuitenkin viimeistään vuoden 2019 lopussa minun on aika siirtyä eteenpäin.

Anna Korpinen

Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

Vakiopalstat

Päätoimittajalta:
Tosiasiat täytyy myöntää.....3

Pääkirjoitus:
Uudelleenohjelmointi on nyt alkanut.....4

Editorial:
Reprogramming has now started.....5

Muistoissa:
Olavi Vapaavuoren uran johtavana
ajatuksena oli ydinturvallisuus.....15

Tapahtumat

Ville Tulkki sai Pekka Jauho -tiedon-
julkistamispalkinnon syysseminaarissa.....6

Terrafame suunnittelee uraanin
talteenottoa.....8

Ajankohtaista

Missä viipyy toriumreaktori?.....10

Luotettava kumppani vaativissa
toimintaympäristöissä.....18

Safe and Economical LWRs through
the European Utility Requirements.....22

Tiede ja tekniikka

Mitä uutta tiedetään Fukushimaasta?.....25
Tuomo Sevon

IPCC:n erikoisraportti 1,5°C:n
lämpenemisestä ja ydinvoima.....30
Sanna Syri



Uudelleenohjelmointi on nyt alkanut

UUDEN YDINVOIMALAITOKSEN suunnittelu Suomeen on haastava laji. Tämä näkyy nyt selkeästi myös Fennovoiman Hanhikivi 1 -projektissa, jota viemme eteenpäin yhteistyössä laitostoitajamme RAOS Project Oy:n kanssa. Tänä vuonna ohjelmoimme uudelleen toimintaamme, jotta edistysimme projektissamme ja ennakoisimme seuraavien projektivaiheiden tarpeet. Olemme jakaneet nämä toimenpiteet neljään päätavoitteeseen ja neljään mahdollistavaan tekijään.

Turvallinen laitos ja tasokas turvallisuussuunnittelu muodostavat ykköstavoitteemme. Teemme parhaillaan töitä merkittävien laitostason kysymysten sulkemiseksi tulevan kevään aikana. Nämä kysymykset liittyvät maaperätutkimuksiin, sisäisten ja ulkoisten uhkien layout- ja rakenneratkaisuihin, sekä

syvyysuuntaisen järjestelmäarkkitehtuurin viimeistelyyn. Monet näistä kysymyksistä ovat poikkitekniisiä ja vaativat laajaa eri alojen kokemuksen yhdistämistä.

Rakentamisvalmius ja teknisen suunnittelun eheys edellyttävät viimeisteltyä järjestelmä- ja rakennussuunnittelua. Tähän liittyy sekä laitoksen perussuunnittelu että sen kanssa yhdenmukainen alustava turvallisuusseloste (PSAR). Laitostoitajan paikallistimi Helsingissä tekee töitä laadukkaasti PSAR-aineiston valmistamiseksi tämän vuoden aikana. Tämä on todella tärkeä vaihe projektissa ja keskittää huomiomme laitoksen tekniin ratkaisuihin. Ensi vuonna tärkeintä on perussuunnittelun saattaminen tasolle, joka mahdollistaa rakentamisen valmistelut.

Laadukas toteutus ja toimitusketjun suoriutuskyky muodostavat rakentamisvaiheen tärkeimmän tavoitteen.

Tänä vuonna tavoitteemme on valmistella laitostoitajan kanssa tekniset ja laadulliset vaatimusmäärittelyt eri osa-alueiden tekniselle toteutukselle, turvallisuus- ja laatuluokituksesta riippuen. Ensi vuonna varmistamme laitostoitajamme valvontakyvyn toteutuksen osalta ja rakennamme oman valvontamallimme kumppanuuksineen.

Käyttövalmius ja vahva turvallisuuskulttuuri syntyvät vaiheittain, teknisen työn ja organisaation kehittämisen kautta – etenkin uudessa voimayhtiössä. Tänä vuonna viimeistelemme käyttövaiheen organisaatiokuvamme, jotta voimme rakentaa toimintojamme ja osaamisemme järjestelmällisellä ja ennakoivalla tavalla. Kiinnitämme huomiota myös siihen, että voimayhtiötoimintojemme vastuullisuus ja laitostekninen omistajuus yli laitoksen elinkaaren ovat tasapainossa projektivaiheen tavoitteiden kanssa. Ensi vuonna haluamme alistaa itsemme myös väkevälle ulkopuoliselle arvioinnille koko valmistautumisemme osalta.

Edellä mainittujen päätavoitteiden lisäksi olemme tunnistanee neljä tärkeintä mahdollistavaa tekijää: laitostoitaja ja toimitusketju, henkilöstö ja johtajuus, prosessit ja työkalut, sekä organisaatio ja johtaminen. Teemme töitä sen eteen, että nämä tekijät auttaisivat kaikkia toimijoita onnistumaan, mikä koskettaa juuri nyt etenkin omia asiantuntijoitamme ja laitostoitajamme suunnittelijoita. Tämä edellyttää jatkuvaa tilannekuvan selkiyttämistä ja vahvaa johdon tukea ja läsnäoloa kaiken monimutkaisuuden keskellä.

Olemme määritelleet edellä mainittuihin päätavoitteisiin ja mahdollistajiin liittyvät toimet Fennovoiman kehitysohjelmaksi 2019-2020. Huomioimme kehittämistyössämme luonnollisesti kaikki viranomaisvalvonnan havainnot ja vaatimukset. Kun hermoratamme alkavat tämän lisäksi osua yhteen laitostoitajamme kanssa, tulee kehitysohjelmamme tarpeettomaksi.

Tulemme olemaan aikaisempaa aktiivisempia ajatustemme, tavoitteidemme ja edistymisemme viestinnässä, sekä sisäisesti että ulkoisesti. Tämä pieni kirjoitus olkoon yksi signaali tästä vuoden 2019 jo alkaessa.

Tkt Timo Okkonen
Chief Development Officer
Fennovoima Oy

Reprogramming has now started

I T IS QUITE A CHALLENGE to design a new nuclear power plant to be constructed and operated in Finland. This has become evident in the Hanhikivi 1 project of Fennovoima, which we are carrying forward in cooperation with our plant vendor RAOS Project Oy. During this year, we will reprogram our operations to improve the progress and to prepare proactively for the next stages. We have divided these actions into four main targets and four enabling factors.

Plant safety and solid safety engineering form our number one target. We are currently working on the resolution of the main plant-level design issues, the target schedule being the upcoming spring time. These issues are related to bedrock investigations, design solutions against internal and external hazards, as well as defence-in-depth design of systems architecture. Many of these issues are cross-disciplinary and require strong experience and team work.

Construction readiness and design integrity require finalization of systems and buildings design. For this, we need both the basic design and a preliminary safety analysis report (PSAR) consistent with the basic design. The PSAR localization team of the plant vendor is working actively in Helsinki to prepare a high-quality PSAR during this year. This is a really important stage in the project and focuses our attention on the design solutions. Next year, the most important target is to bring the basic design to a level that enables plant construction to be prepared.

Implementation quality and supply chain performance form the most important target for the plant construction stage. During this year, our target is to prepare, together with the plant vendor, the design and quality specifications depending on the safety and quality classification. Next year, we will ensure plant vendor's capability of controlling the implementation of all plant items; and we will also build our own supervision model and associated partnerships.

Operational readiness and strong safety culture evolve stepwise via technical work and organizational development – especially in a new utility organization. During this year, we will prepare our operational organization view, to guide us in building our functions and competences in a systematic and proactive way. We will also pay attention to our utility operations and design ownership over the plant life cycle, so that this long-term perspective becomes balanced with the project-oriented objectives. During next year, we also want to expose ourselves to a heavy external evaluation, concerning all our preparations to become a nuclear utility.

In addition to the afore-mentioned targets related to plant design, construction and operation, we have identified four key enabling factors: plant vendor and suppliers, people and leadership, processes and tools, and organization and management. We are working hard to create the right preconditions for all actors to succeed, concerning now especially our own experts and those of the plant vendor. This requires continuous recalibration of the situation view and strong leadership and presence in the middle of all the complexity.

The actions related to the afore-mentioned main targets and enabling factors form the Fennovoima development program 2019–2020. In our development work, we will take into account all the regulatory oversight findings and requirements. When our neural pathways start to match those of the plant vendor, the development program has done its duty.

We are going to be more active in communicating our thoughts, targets and progress, both internally and externally. May this writing carry one signal like this at the beginning of year 2019.

Dr. Timo Okkonen
Chief Development Officer
Fennovoima Oy



Ville Tulkki sai Pekka Jauho -tiedonjulkistamis-palkinnon syysseminaarissa

Syysseminaarissa perehdyttiin EURATOMin ja ENS:n toimintaan sekä kuultiin voimayhtiöiden ja Posivan ajankohtaisia kuulumisia. Myös Helsingin Yliopiston uusi radiokemian professori esittäytyi ATS:n jäsenistölle.

Teksti: Antti Rätty & ATS Ydintekniikan toimitus **Kuvat:** Henri Ormus

ATS:N PERINTEINEN SYYSSEMINAARI pidettiin Säätytalolla torstaina 1.11. Tilaisuuteen ilmoittautui 180 henkeä, joista valitettavan moni jäi saapumatta paikalle. Tähän saattoi vaikuttaa peruuntunut Terrafamen esitys. Esitelmää seurattiin myös etänä Skype-yhteyden kautta. Näin voitiin palvella kauempana asuvia ATS:n jäseniä ja käytännöstä saatiinkin paljon positiivista palautetta.



FM Antti Rätty

Sihteeri
ATS
sihteeri@ats-fns.fi

Tervetuliaispuheen yhteydessä seuran puheenjohtaja Tuomas Rantala jakoi Pekka Jauho -palkinnon TKT Ville Tulkille pienten modulaaristen reaktorien (SMR) tutkimuksesta ja siihen kuuluvasta asiantuntijaviestinnästä. Aihe on johtanut muun muassa kaupunkien aloitteisiin tutkia SMR-tekniikan hyödyntämistä kaukolämmöntuotannossa ja lisännyt julkista keskustelua koko alan kehityksestä. Lisäksi toisenlainen konsepti on haastanut ihmisiä ajattelemaan ydinvoimaa uudelleen ja tuonut ydinenergialle kannattajia myös sitä perinteisesti vahvasti vastustajien piireistä.

EU-rahoitteinen fissiotutkimus

Ensimmäisenä esityksenä VTT:n tutkimuspäällikkö Petri Kinnunen kertoi EU-rahoitteisesta ydinenergia-alan EURATOM-tutkimusohjelmasta. EURATOMin historia ulottuu vuoteen 1957 asti ja käsittää jäsenmaissa tehdyn tutkimusrahoituksen lisäksi muun muassa viisi Joint Research Centre -tutkimuskeskusta eri puolella Eurooppaa tuottamassa tieteellisesti tutkittua tietoa alan toiminnan tueksi. Käynnissä olevan nelivuoti-

sen ohjelman budjetti on 1602 Me, josta osa on suunnattu fuusioenergian tutkimukseen.

Fuusioenergian tutkimusta käsiteltiin vuoden 2017 syysseminaarissa Markus Airilan esityksessä, minkä vuoksi tämän vuoden seminaarissa keskityttiin enemmän fissiipuolen tutkimukseen. Mielenkiintoinen näkökanta oli myös esityksen lopussa kerrottu Brexitin vaikutus alan tutkimukseen. Poliitikoilta on vielä päättämättä millaisen sopimuksen alla Iso-Britannia ja Euratom mahdollisesti tekevät yhteistyötä tulevaisuudessa.

Voimayhtiöiden ajankohtaiset kuulumiset

Voimayhtiöiden vuosikuulumisissa Jukka Päiväranta Fortumilta kertoi esitelmässään muun muassa Loviisan automaatiouudistuksen loppuun saattamisesta, polaarintuotteen uusimisesta ja jätehuoltoon ja käytöstäpoistoon liittyvästä liiketoiminnasta.

Toni Hemminki taas kertoi Fennovoiman esityksessä projektin etenemisestä. Yhtiön organisaatiota on vahvistettu isoilla rekrytoinneilla ja rakentamista valmistelevat työt etenevät niin laitospaikkakunnalla kuin luvituksen

valmistelussakin. Tärkeänä edistysaskeleena referenssilaitos LAES-2:n ensimmäinen reaktori on kytketty verkkoon tänä vuonna Sosnovyi Borissa.

Juha Poikola TVO:lta piti vauhdikkaan esityksen ydinenergian roolista ilmastomuutoksen torjunnassa ja OL3:n rakentamisen loppusuorasta. ”Suomen suurin ilmastoteko” on jo testausvaiheessa.

ATS ja kansainvälinen toiminta

Suomen Atomiteknillinen Seura on osa European Nuclear Societya ja ATS:n kansainvälisten asioiden sihteeri Henri Ormus kävi kertomassa ENS:n nykyisestä toiminnasta. ENS on kehittänyt lähiaikoina paljon viestintäänsä ja muun muassa uusissa webinaareissa on nähty myös suomalaisia puhujia.

ATS:n johtokunnalle heitettiin myös haaste hakea jonkin ENS:n konferenssin järjestämistä Suomeen. Muuna kansainvälisenä toimintana ATS-Seniorit ja Young Generation ovat järjestäneet omia matkojaan lähimaiden ydinlaitoksiin.

Posiva demonstroi loppusijoitusta kahdella kapselilla

T&K-koordinaattori Johanna Hansen Posivasta kertoi käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusjärjestelmän täyden mittakaavan FISST-kokeesta. Tarkoituksena on osoittaa, että loppusijoitusjärjestelmä on asennettavissa vaatimusten mukaisesti. Demonstraatiot järjestetään Onkalossa kahdella kapselilla kaik-

kine sisäosineen ja pitkän projektin osina on ollut muun muassa asennusajoneuvojenkin suunnittelua.

Seminaarin esitelmäosuuden päätti vuonna 2018 virkaansa valittu Helsingin yliopiston radiokemian professori Gareth Law. Esitelmän otsikkona oli ”The Nuclear Legacy – Problems and Solutions”. Professori kertoi vanhojen laitosalueiden kontaminaation mittaamisen ja puhdistamisen menetelmistä, joita hän on kehittänyt aiemmissa työpaikoissaan.

Tekniikoihin kuului muun muassa Fukushima alueen kontaminaation mittaaminen autoradiografialla ja radionuklidien kulkeutumisen estäminen maaperässä biologisilla ja kemiallisilla apukeinoilla. Tutkimuksen jatko Helsingin yliopistossa tulee olemaan mielenkiintoista.

Esityksien jälkeen keskusteluja jatkettiin vielä voimayhtiöiden tarjoaman buffet-illallisen parissa. Kesän erityispitkä hellekausi, Ruotsin metsäpalot ja syksyn YK:n Ilmastopaneelin (IPCC) tuore raportti, sen haasteet ja toimenpidesuosituksukset puhuttivat väkeä eri keskustelupöydissä. Osallistujien kesken pohdittiin tulevia haasteita aurinko-, tuuli-, ydin- ja hiilineutraalin sähkön tuotannossa kuin myös brexitin mahdollisia vaikutuksia EU:n fuusiotutkimukseen. Aiemmin päivällä Posivan katsauksen yhteydessä yleisön joukosta esitettiin kysymys koskien kuparin riittävyyttä Suomen ja Ruotsin kaiken ydinjätteen loppusijoitukseen. Emeritusprofessori Hannu Hännisen mukaan Suomen kolmen vuoden tuotanto riittää yhteiseksi kuparin tarpeeksi.”

Pekka Jauho -palkinto

SUOMEN ATOMITEKNILLISEN SEURAN

yhtenä päätarkoituksena on tieteellisen seuran ominaisuudessa edistää ydintekniikan alan tuntemusta ja kehitystä maassamme. Vuonna 2016 yhdistyksen vuosikokous päätti perustaa 50-vuotisjuhlavuoden ja seuran edesmenneen kunniajäsenen, akateemikko Pekka Jauhon kunniaksi tiedonjulkistamispalkinnon. Pekka Jauho -palkinto myönnetään vuosittain ydintekniikan alalla tehdystä merkittävästä tiedonjulkistustyöstä, joka on lisännyt ydintekniikan ymmärrystä, parantanut yhteistyötä alalla ja antanut virikkeitä yhteiskunnalliselle keskustelulle.

Ville Tulkki toimi projektipäällikkönä VTT:n sisäisessä PARIS (Potential of Advanced Reactors for Industry and Society) -projektissa, jonka osatuloja ydinkaukolämmön suhteen julkaistiin loppuvuodesta 2017. Tässä vaiheessa ydinkaukolämpö alkoi kiinnostaa mediassa ja kiinnostus onkin jatkunut tähän päivään asti. Tänä vuonna Ville on koordinoitunut SMR-aiheista H2020-hakemusta ja vetänyt VTT:n sisäistä ydinlämpöön liittyvän osaamisen kehitysohjelmia. Tällä hetkellä hän on käynnistämässä osittain Business Finland -rahoitteista projektia, jonka tarkoituksena on kartoittaa ydinlämmön ja pienreaktoreiden tarjoamat mahdollisuudet suomalaiselle teollisuudelle.

Ville on myös ollut erittäin aktiivinen mediavaikuttaja ja hän on osaltaan nostanut ydinenergian mukaan keskusteluun ympäristöystävällisistä energiantuotantotavoista. Ville esiintyi Ylen uutisissa 28.9.2017 pienreaktoriasiantuntijana, keskusteli Yle Puheella Juuso Pekkisen kanssa otsikolla ”Pieniä ydinreaktoreita ja suuria kysymyksiä ydinvoimasta” 23.1.2018, kommentoi useita lehtijuttuja muun muassa Helsingin Sanomissa erityisesti keväällä 2018, esiintyi Ylen Aamutuvisissa 3.9.2018 puhumassa ydinvoiman roolista ilmastomuutoksen hillinnässä ja toki hän on kirjoittanut lukuisia artikkeleita sekä pitänyt esityksiä ydinlämmöstä alan konferensseissa (mm. ANS Annual Meeting 2018, Energiakongressi 2018 ja Global District Heating Days 2018). Lisäksi Ville on vierailut useammassa podcastissa (Dissenter, Titans of Nuclear, Hyvän sään aikana ja Hiiligrilli ydinvoimasta) sekä pitää blogia yhdessä VTT:n tutkimusprofessori Jaakko Leppäsen kanssa (fissioreaktori.wordpress.com).

Juha Poikolan esityksestä löytyi hyviä esimerkkejä siitä, miten ydinvoima on ollut esillä mediassa positiivisessa valossa kuluneen vuoden aikana.



Terrafame suunnittelee uraanin talteenottoa

Kainuussa toimivan monimetalliyhtiö Terrafamen päätuotteet ovat nikkeli ja sinkki, mutta se tuottaa myös kuparia ja koboltia. Terrafamen käyttämän bioliuotuksen avulla samasta malmista on mahdollista ottaa hyötykäyttöön myös monia muita metalleja. Parhaillaan Terrafame valmistelee uraanin talteenottoa, mikä vaatii muista metalleista poikkeavaa luvitusta ja valvontaa.

Teksti: Antti Rätty, Jarmo Ala-Heikkilä **Kuvat:** Henri Ormus

MAANANTAINA 14.1.2019 pidettiin jäsentilaisuus, johon saatiin syysseminaarista peruuntunut Terrafamen esitys Talvivaaran kaivoksen uraanin talteenotosta. Tilaisuuteen oli ilmoittautunut 69 seuran jäsentä, joista osa seurasi tilaisuutta etäyhteydellä.

Jäsentilaisuus järjestettiin kansallisen Ydinturvallisuus- ja ydinjätehuoltokurssin (YJK) kurssipäivän lopuksi ja yleisössä oli kuuntelemassa myös ei-vielä-jäsenenä-olevia kurssilaisia. Tämän vuoksi ATS:n puheenjohtaja Tuomas Rantala ja ATS YG:n varapuheen-

johtaja Eveliina Muuri esittelivät aluksi seuraa ja sen toimintaa yleisesti.

Mineraaleja vuosikymmeniksi

Seuran esittelyn jälkeen päästiin kauan odotettuun Terrafamen esitykseen. Toimitusjohtaja Joni Lukkaroinen kertoi aluksi mitatusta malmin koostumuksesta ja kaivoksen toiminnasta yleisesti, uraanin talteenoton lupahakemuksesta tarkemmin ja lopulta muista kaivoksen tulevaisuuden suunnitelmista.

Terrafame (suorana käännöksenä italiasta, ”nälkämaa”) on kainuulainen monimetalliyhtiö, jonka päätuotteina ovat nikkeli ja sinkki. Yhtiö perustettiin Talvivaara-yhtiön konkurssin raunioista ja toiminta on saatu kolmessa vuodessa ylösajettua kaupallisesti kannattavaksi.

Terrafamen enemmistöosakas on valtio, jonka lisäksi omistajina ovat Trafigura-konserni sekä Sampo Oyj. Omia työntekijöitä on noin 650, minkä lisäksi kaivosalueella toimii lähes saman verran muiden yhtiöiden työntekijöitä. Kaivos onkin Kainuun suurimpia työllistäjiä.

Kaivoksen toiminnassa avolouhoksesta tullut murskattu kiviaines siirretään aluksi 800 x 2 400 m kokoisiin primäärioliuotuska-soihin, sieltä myöhemmin sekundäärioliuotukseen ja lopulta eri mineraalien saostusprosesseihin. Liuotuksessa hyödynnetään mikrobeja katalyytteinä. Koko liuotusprosessi vie noin 50 kuukautta, minkä vuoksi toiminnan ylösajo Talvivaara-yhtiön jälkeen on vaatinut aikaa.

Nykyiset arviot mineraalivarannoista (1 458 Mt) riittävät vuosikymmenien toimintaan. Kyseessä on Euroopan suurin nikkeli-kaivos. Käytössä oleva bioliuotusmenetelmä on saatu toimimaan sujuvasti ja turvallisesti sekä työntekijöiden että luonnon kannalta. Ongelmia aiheuttaneita sulfaattipäästöjä on saatu merkittävästi alennettua.



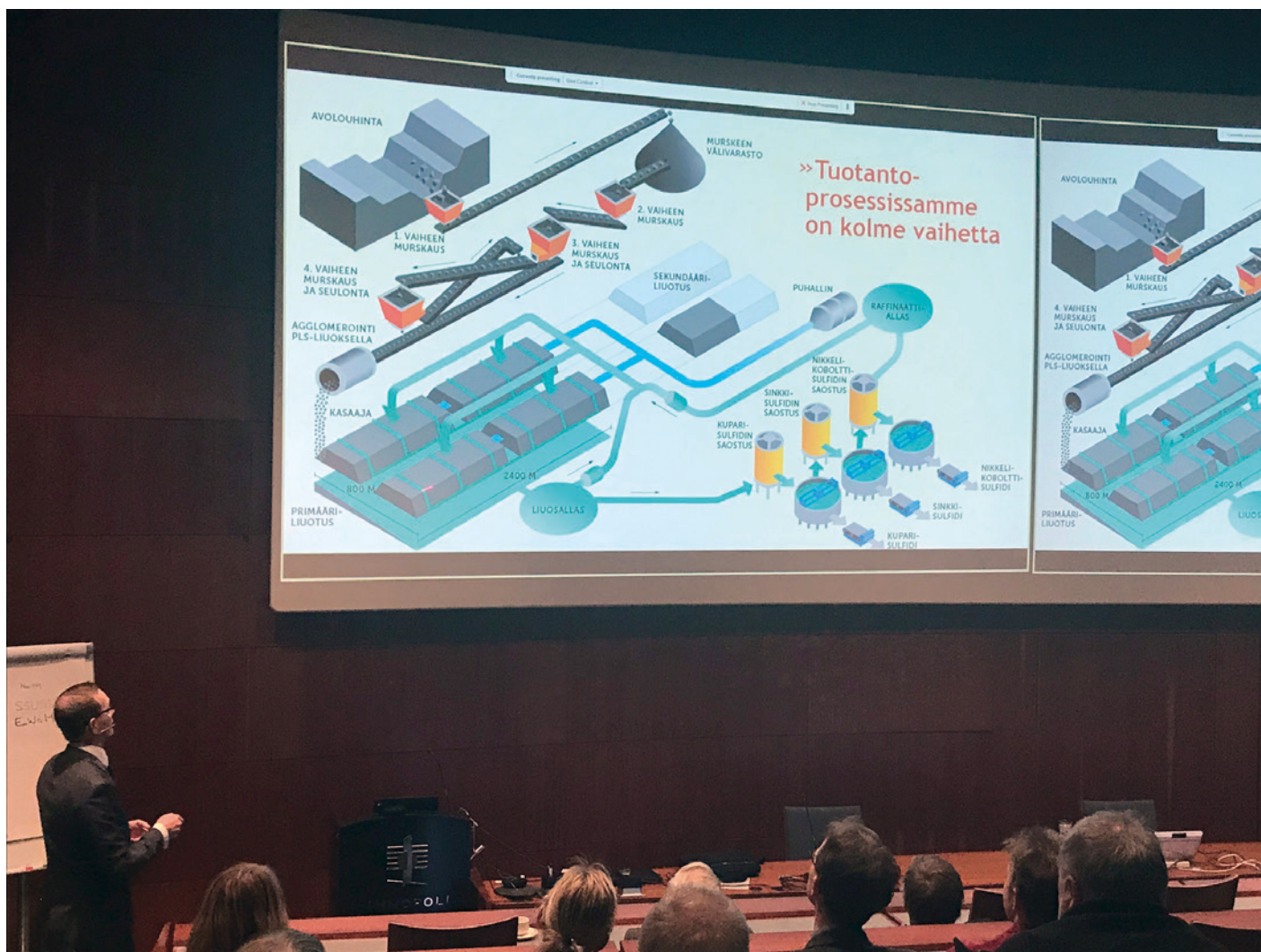
FM Antti Rätty

Sihteeri
ATS
sihteeri@ats-fns.fi



TkT Jarmo Ala-Heikkilä

ATS Ydintekniikan tieteellinen päätoimittaja
Aalto-yliopisto
jarmo.ala-heikkila@aalto.fi



Luvitettavana erillinen prosessi uraanille

Käytännössä uraanin talteenotto tarkoittaisi yhtä saostusprosessia lisää metallitehtaalla. Malmin uraanipitoisuus on kansainvälisesti vertaillen matala: pitoisuus on 17 ppm, kun yleensä uraanimalmin rajana pidetään 1000 ppm. Yhdistettynä muiden mineraalien louhintaan uraanin talteenotto arvioidaan kuitenkin kannattavaksi.

Samasta syystä uraanin talteenotto ei myöskään lisää louhittavan kiven määrää. Arkipöydällä ajatellenkin uraani on mielekästä ottaa talteen, koska sitä malmissa kuitenkin on. Lisäksi toiminnan aloittaminen vaatii enää suhteellisen pienen investoinnin olemassaolevaan infrastruktuuriin, koska edeltäjäyritys valmisti uraanilaitoksen jo lähes 90 % valmiiksi.

Uraanilaitoksen käynnistämisen lupahakemus valtioneuvostolle on jätetty lokakuussa

2017 ja sitä on täydennetty STUKilta tulleiden tiedusteluiden myötä. Käytännössä uraanin talteenotto voisi alkaa vuoden 2019 lopulla, mutta kevään eduskuntavaalit ja niitä seuraavat hallitusneuvottelut voivat pitkittää prosessia.

STUKin lisäksi Terrafamen toimintaa valvovia viranomaisia ovat myös TUKES, Kainuun ELY-keskus ja Euratom. Keskeiset asiat ovat ympäristöturvallisuus päästöissä, ydinmateriaalivalvonta, säteilyturvallisuus uraanin käsittelyssä ja turvallinen jatkojalostus. Ympäristö- ja kemikaaliluvat uraanin talteenottoon yhtiöllä jo onkin.

Materiaalia hiilivapaan energian tuotantoon ja säilömiseen

Lopuksi Lukkaroinen kertoi vielä Terrafamen suunnitelmista akkukemikaalien, erityisesti nikkelisulfaatin tuotantoon. Nämä markkinat

kasvavat nopeasti sähköautojen yleistyessä. Esityksessä tuotiin esille, että yhtiön bioliuotukseen perustuvan prosessin hiilijalanjälki on alhaisempi verrattuna perinteisiin nikkelisulfaatin tuotantomenetelmiin.

Keskusteluosuudessa yleisöä kiinnosti esimerkiksi lopputuotteiden pakkaaminen ja uraanikuljetusten turvallisuus. Nämä on myös suunniteltu huolellisesti, mutta luonnollisesti tarkemmat tiedot erityisesti uraanikuljetuksista eivät ole julkisia. Suunniteltu uraanin tuotantomäärä on 200 tonnia vuodessa, mikä merkitsee noin yhtä rekkakuormaa kuukaudessa.

ATS toivottaa uuden toimijan tervetulleeksi suomalaisten ydinalan toimijoiden joukkoon! 🇫🇮

Missä viipyy toriumreaktori?

Viime aikoina on puhuttu paljon meneillään olevasta ydinvoimahypestä, joka liittyy pieniin modulaarisiin SMR-reaktoreihin. Useimmissa SMR-konsepteissa on pohjimmiltaan kyse jo olemassa olevan ja koetellun teknologian skaalaamisesta pienempään mittakaavaan, mutta vastaavaa pohinää on havaittavissa myös paljon eksoottisempien reaktortyyppien ympärillä.

Teksti: Jaakko Leppänen

YDINENERGIA-ALAA PIDEMPÄÄN SEURANNEET eivät ole voineet välttyä huomaamasta, että samat ideat toistuvat lähes säännöllisin väliajoin tiede- ja teknologialehtien ydinvoima-aiheisissa kirjoituksissa, tarjoten ratkaisua milloin ydinjäteongelmaan, ja milloin taas reaktoreiden turvallisuuskysymyksiin. Lupauksista huolimatta uudet innovaatiot eivät kuitenkaan näytä lyövän läpi, vaan ydinteollisuus luottaa vuosikymmenestä toiseen yli puoli vuosisataa vanhaan kevytvesireaktoriteknologiaan.



TkT Jaakko Leppänen

Tutkimusprofessori
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
jaakko.leppanen@vtt.fi

Miksi ydintekniikka ei sitten kehity, jos parempiakin ratkaisuja on tarjolla?

Useimmat hypetetyistä reaktortyypeistä ovat teknisesti täysin toteuttamiskelpoisia, ja monet niistä todella tarjoavat huomattavia parannuksia erityisesti sellaisiin sovelluksiin, joissa perinteisten paine- ja kiehtusvesilaitosten rajoitukset tulevat vastaan. Uskon itse että SMR-kokoluokan kevytvesireaktoreiden lisäksi esimerkiksi korkean lämpötilan kaasujäähdytteillä reaktoreilla on suuri potentiaali vähentää ratkaisevasti raskaan teollisuuden kasvihuonekaasupäästöjä, joita on muilla teknologioilla vaikea saada alas. Sama pätee myös kaukolämmöntuotantoon räätälöityihin reaktoreihin, jotka voisivat erityisesti Suomen olosuhteissa olla hyvinkin varteenotettava vähäpäästöinen vaihtoehto suurten asumiskeskittymien lämmittämiseen. Nämä reaktortyypit ovat teknisesti toteutettavissa, ja niihin liittyvät haasteet ovatkin lähinnä taloudellisia ja poliittisia. Ydinvoiman lisärakentaminen on monessa maassa pitkän ja raskaan poliittisen prosessin takana, erityisesti silloin kun puhutaan uudesta teknologiasta. Taloudellisten riskien minimoimiseksi voimayhtiöt sijoittavat rahansa mieluummin sellaisiin ratkaisuihin, joiden toteutumisesta ja todellisista kustannuksista on edes jotain aikaisempaa näyttöä.

Eksoottisempia tulevaisuuden reaktoriteknologioita käsitteleviä uutisia lukiessa kannat-

taa pitää mielessä se, että kyse on monesti konseptitason suunnitelmista, jotka ovat olemassa korkeintaan tietokonesimulaatioina. Uusia reaktortyyppejä kehittävät erityisesti USA:ssa pienet ja keskisuuret insinööritoimistot, joilla ei ulkopuolisen tutkimusrahoituksen lisäksi välttämättä ole kovin paljon muuta kasvavirtaa. Yhteistyötahoina voi toimia yliopistoja ja tutkimuslaitoksia, joille työn varsinainen päämäärä ei välttämättä edes ole toimivan reaktoriratkaisun tuottaminen, vaan esimerkiksi koulutus tai uusien laskentamenetelmien kehitys. Uudet teknologiat soveltuvat näihin tarkoituksiin erittäin hyvin, ja akateemisessa tutkimuksessa matka onkin usein päämäärää tärkeämpi.

Tiede- ja teknologialehtien uutiset on monesti poimittu firmojen omasta mainosmateriaalista, joka pitää sisällään samoja toiveikkaita lupauksia joilla myös potentiaaliset rahoittajat houkutellaan avaamaan lompakkonsa. Kilpailu rahoituksesta on kovaa, eivätkä kaikki pelaa täysin avoimilla korteilla. Uuden teknologian erinomaisuutta saatetaan korostaa väittämällä sen ratkaisevan myös sellaisia ongelmia, joita ei myöskään perinteisellä kevytvesireaktoriteknologialla todellisuudessa edes ole. Klassisin esimerkki liittyy reaktorin fissiotehon hallintaan. Uuden teknologian eduksi voidaan listata, että reaktori sammuttaa ongelmatilanteessa itse itsensä. Samassa yhteydessä jätetään kuitenkin kertomatta, että kyse on todellisuudessa omi-



Shippingportin painevesilaitos oli USA:n ensimmäinen kaupallinen ydinvoimala, joka aloitti toimintansa 1957. Reaktori toimi 1970-luvulla myös toriumpolttoaineella (kuva: DOE).

naisuudesta joka löytyy lähes kaikista muistakin reaktortyypeistä. Maailikon voi olla hyvin vaikea arvioida esitettyjen väitteiden todenperäisyyttä, varsinkin jos niiden esittäjä hyväksikäyttää tarkoituksellisesti ihmisten ydinennergia-alaa kohtaavan tuntemaa huolta ja epäluuloa.

Yksi hypetetyimmistä edistyneistä ydinteknologioista on toriumreaktori. Toriumia on tosin käytetty ydinpolttoaineena onnistuneesti jo 1960-luvulla, joten kyse ei varsinaisesti ole uudesta teknologiasta. Mielenkiinto toriumia kohtaan heräsi alkujaan siitä, että koska kyse on maankuoressa kolme kertaa uraania yleisemmästä alkuaineesta, teknologian käyttöönotto hälventäisi myös ydinpolttoaineen riittävytyteen liittyviä huolia. Toriumteknologiaan liitetään tosin usein joukko muitakin sen ylivoimaisuutta korostavia ominaisuuksia. Esimerkiksi Wikipediassa toriumreaktorin eduiksi luetaan mm. se, että polttoainetta ei tarvitse väkevöidä, että reaktori-

toriteknologia soveltuu huonosti ydinase-materiaalin valmistamiseen, ja että reaktori käyttää luonnonvaroja tehokkaasti, tuottaen samalla vähemmän ydinjätettä. Viimeisin väite viedään toisinaan jopa niinkin pitkälle, että toriumreaktorin tuottamaa jätettä ei tarvitsisi edes loppusijoittaa, sillä siihen ei synny lainkaan pitkäikäistä plutoniumia.

Mitä toriumin käyttö ydinpolttoaineena käytännössä tarkoittaa?

Torium kuuluu uraanin, neptuniumin, plutoniumin ja amerikiumin kanssa alkuaineiden jaksollisessa järjestelmässä aktinidien ryhmään. Näiden alkuaineiden isotoopeille on yhteistä se, että ne ovat rakenteeltaan epästabiileja, ja pyrkivät kohti matalampaa energiatilaa radioaktiivisella hajoamisella. Kaikki aktinidit kykenevät myös (ainakin teoriassa) fissioi-

tumaan neutroniabsorption vaikutuksesta. Reaktoriteknologian näkökulmasta erityisasemassa ovat sellaiset isotoopit, joilla fission todennäköisyys on riittävän korkea ylläpitämään ketjureaktion kulkua. Uraanipolttoainetta käytävissä reaktoreissa pääasiallinen fissioituva isotooppi on U235, joskin polttoainepun käyttöön lopulla merkittävä osa energiasta on peräisin myös plutoniumin Pu239-isotoopin fissiosta. Muita helposti fissioituvia isotooppeja ovat sellaiset ytimet joiden neutroniluku on pariton, esimerkiksi uraanin isotooppi U233 ja plutoniumin isotooppi Pu241¹.

Helposti fissioituvan U235-isotoopin atomiosuus on luonnonuraanissa noin 0,7 %. Näin matala pitoisuus riittää hädin tuskin ketjureaktion ylläpitämiseen, sillä edellytyksellä että reaktorin moderaattorina käytetään neutroneita heikosti absorboivaa raskasta vettä, tai vaihtoehtoisesti erittäin puhtaasta hiilestä koostuvaa grafiittia. Kevytvesireaktoreissa moderaattoriytimenä toimiva vety sen sijaan absorboi niin paljon neutroneita, että häviöiden kompensoimiseksi polttoaineen väkevöinti eli U235-isotoopin pitoisuus nostetaan tyypillisesti 3–5 %:iin.

Luonnossa esiintyvä torium koostuu yksinomaan parillisen neutroniluvun isotoopista Th232, jonka fission todennäköisyys on erittäin pieni. Puhtaasta toriumista rakennettu reaktori ei tästä syystä kykene ylläpitämään ketjureaktion kulkua missään olosuhteissa. Todellisuudessa toriumreaktorin polttoaineen fissio perustuukin uraanin isotooppiin U233, jota syntyy toriumista peräkkäisten neutronikaappaus- ja betahajoamisreaktioiden kautta²:

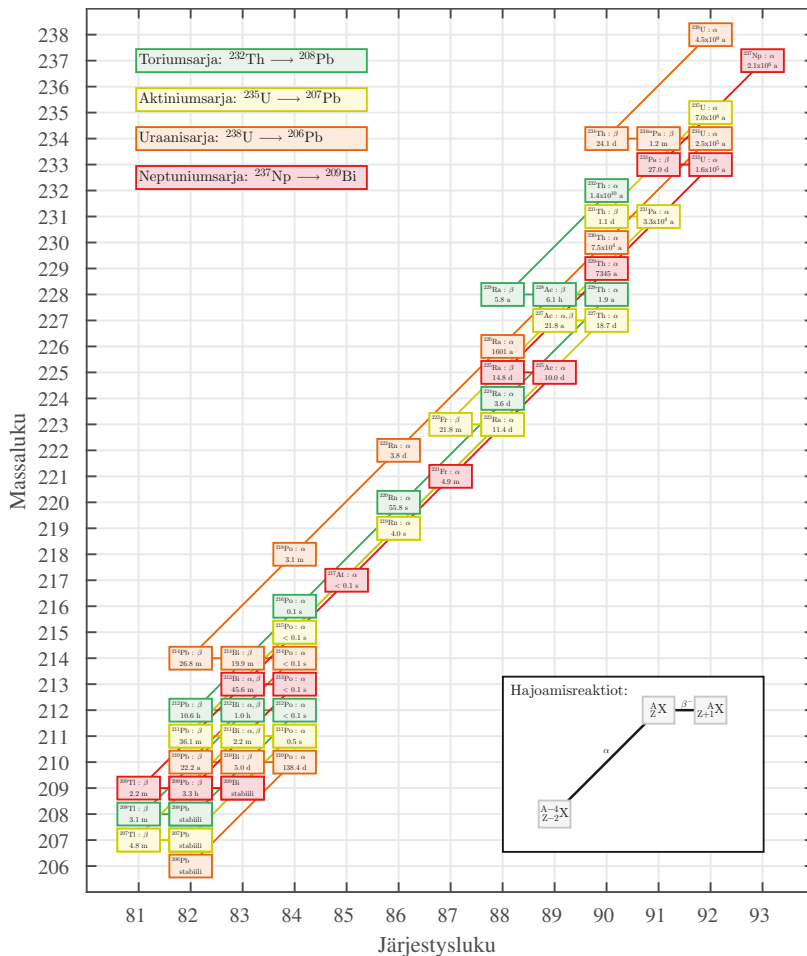


Torium ei siis varsinaisesti ole uraaniin verrattavissa oleva ydinpolttoaine, vaan pikemminkin lähtöaine josta fissiiliä polttoainetta valmistetaan. Puhdasta toriumia säteilytetään reaktorissa niin kauan, että fissiiliin isotoopin pitoisuus riittää ketjureaktion ylläpitämiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että U233:n atomiosuuden on oltava vähintään prosentin tai kahden luokkaa.

Uraanin isotoopeista U233:lla on kuitenkin puolellaan sellainen lisäetu, että sen neutronien keskimääräinen nettotuotto on U235:a korkeampi. Jos reaktori saadaan käyntiin to-

¹ Tarkemmin sanottuna parittoman neutroniluvun isotoopeilla on kyky fissioitua ytimeen osuneen neutronin liike-energiasta riippumatta. Taustalla on nk. pariteettieffekti, joka juontaa juurensa ytimen kvanttifysikaaliseen rakenteeseen. Jos ytimeen osunut neutroni löytää nukleonien joukosta parikseen toisen yksinäisen neutronin, reaktiossa vapautuu ylimääräistä sidosenergiaa, joka saa ytimen halkeamaan. Parillisen neutroniluvun ytimien fissioon liittyy sen sijaan tyypillisesti tietty kynnysenergia, eli neutronin on tuotava mukanaan myös riittävästi liike-energiää jotta halkeaminen tulee mahdolliseksi.

² Betahajoaminen (tarkemmin sanottuna β^- -hajoaminen) on radioaktiivisen hajoamisen muoto, jossa ytimeen sitoutunut neutroni muuttuu protoniksi. Tämä tarkoittaa sitä, että ytimen massaluku säilyy, mutta järjestysluku kasvaa yhdellä. Neutronikappauksen seurauksena syntynyt Th233-ydin hajoaa ensin alkuaineiden jaksollisessa järjestelmässä yhtä järjestyslukua korkeammalla olevaksi protaktiniumiksi, ja toisen vastaavan reaktion myötä uraaniksi.



riumpolttoaineella, niin ylimääräiset neutronit voidaan käyttää muuttamaan lisää Th232-ytimiä U233:ksi. Suotuisissa olosuhteissa reaktori voi tuottaa uutta polttoainetta nopeammin kuin vanhaa kuluu. Tällaista reaktoria kutsutaan hyötöreaktoriksi. Neutronien näkökulmasta toriumpolttoaineella toimivan hyötöreaktorin toimintaperiaatteen voi ymmärtää vaikka siten, että yksi fissiossa syntyneistä neutroneista tarvitaan ylläpitämään ketjureaktion kulkua, eli jatkamaan fissioketjua eteenpäin, ja ylimääräisillä neutroneilla muutetaan Th232-ytimiä U233:ksi siten, että myös fissiossa menetetty ydin korvautuu uudella.

Toriumreaktorin kyky käyttää luonnonvaroja perinteistä kevytvesireaktoria tehokkaammin liittyy juuri siihen, että kyse on itse asiassa hyötöreaktorista. Koska hyötöreaktori

tuottaa jatkuvasti lisää fissiiliä isotooppia, se voi ainakin teoriassa hyödyntää maankuoresta löytyvän raaka-aineen koko energiasisällön. Uraanipolttoaineella toimiva kevytvesireaktori pystyy vastaavasti käyttämään lähinnä U235-isotoopin osuuden, eli 0,7 % uraanin kokonaismäärästä.

Onko toriumreaktori luonnonvarojen riittävyyden kannalta ratkaisevasti parempi vaihtoehto?

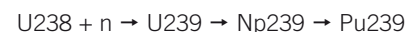
Maailman uraanivarojen riittävyys mainitaan usein ydinenergian pitkäaikaista käyttöä rajoittavana tekijänä. Syy tähän on jossain määrin historiallinen. Uraania pidettiin vielä 1950-luvulla suhteellisen harvinaisena alkuaineena, tosin lähinnä siitä syystä, että maailman uraa-

Aktinidit muodostavat neljä pitkää hajoamissarjaa, joita kutsutaan torium, aktinium, uraani- ja neptuniumsarjoiksi. Ne saavat alkunsa pitkäikäisistä isotoopeista Th232, U235, U238 ja Np237, ja päättyvät stabiileihin lyijyn ja vismutin ytimiin Pb208, Pb207, Pb206 ja Bi209. Luonnonuraanin U235- ja U238-isotooppien suhteelliset osuudet ovat noin 0,7 % ja 99,3 %. Toriumilla ei ole muita pitkäikäisiä isotooppeja kuin Th232. Neptuniumsarja on muita lyhytikäisempänä hävinnyt kokonaan luonnosta. Kaikki plutoniumin ja sivuaktinidien hajoamiset yhtyvät johonkin näistä neljästä sarjasta.

nivarojen kartoitus alkoi toden teolla vasta kun ydinteollisuus loi sen laajamittaiselle käytölle konkreettisen tarpeen. Varhaisissa ennusteissa ydinenergian käytön uskottiin myös yleistyvän huomattavan nopeasti, ja lopulta jopa syrjäyttävän kaikki muut energiantuotantomuodot. Luonnonvarojen rajallisuus yhdistettynä nopeaan kasvuun oli kestävä yhä.

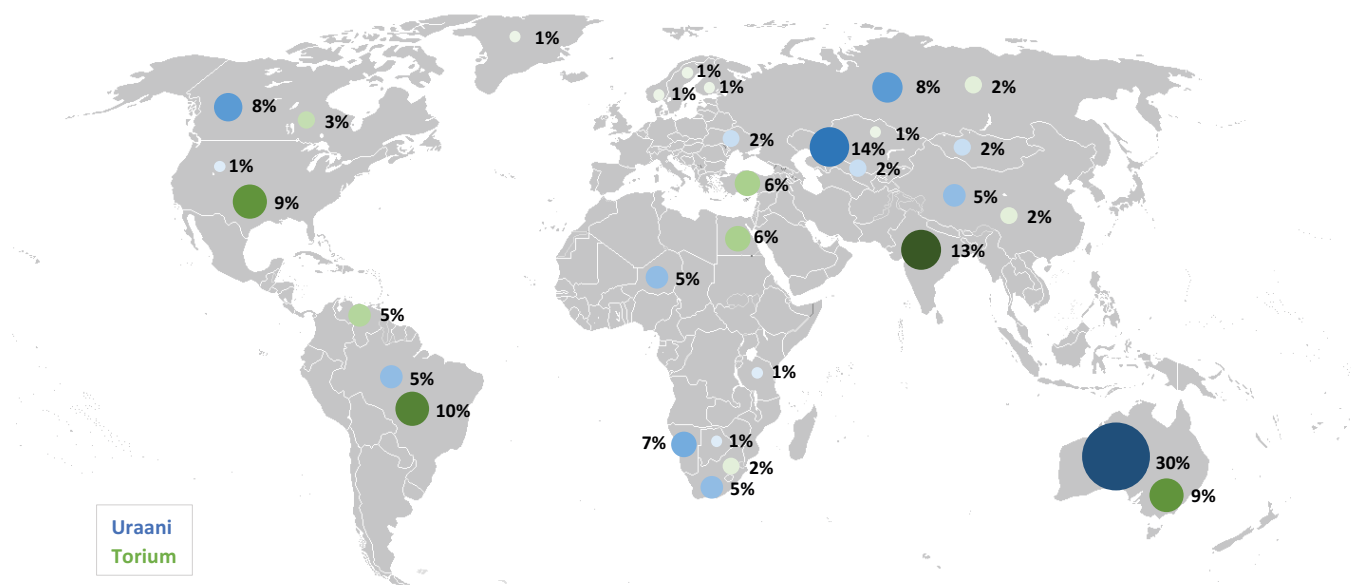
1950-luvun kasvuennusteet eivät kuitenkaan toteutuneet, ja nykytiedon mukaan tunnettujen ja kartoittamattomien uraanimalmioiden on arveltu riittävän vähintään sadoiksi vuosiksi eteenpäin. Kysymys uraanin riittävyydestä palautuu kuitenkin lopulta raaka-aineen hintaan, sillä kysynnän kasvaessa yhä köyhempien malmioiden louhinta muuttuu taloudellisesti kannattavaksi. Esimerkiksi fosfaattimalmien käyttöönotto moninkertaistaisi maailman uraanivarat kertaheitolla. Vielä suurempi potentiaali löytyy valtameristä, sillä uraania on myös merivedessä. Kilpailukykyinen erotusteknologia tosin odottaa vielä kehittämistään.

Toinen huomionarvoinen seikka on se, että hyötöreaktori voi toimia myös uraanipolttoaineella, jolloin suurimmaksi osaksi U238-isotoopista muodostuvan raaka-aineen koko energiasisältö voidaan hyödyntää tehokkaasti. Neutronikaappaukseen ja kahteen peräkkäiseen betahajoamiseen perustuva konversioprosessi on tällöin:



Tämä U238-Pu239 -kierto on täysin analoginen toriumreaktoreiden Th232-U233-kierron kanssa, sillä erotuksella että uraanipolttoai-

3 Uraanin konversiota plutoniumiksi tapahtuu myös tavallisissa kevytvesireaktoreissa. Kuten edellä todettiin, reaktorin polttoaine voi käyttökänsä lopulla tuottaa merkittävän osan fissioenergiastaan plutoniumilla. Tästä syystä myös luonnonuraanin energiasisällöstä pystytään todellisuudessa hyödyntämään enemmän kuin pelkkä U235-isotoopin osuus. Kevytvesireaktoreissa konversioprosessi ei kuitenkaan toimi yhtä tehokkaasti kuin toriumreaktoreissa, ja fissiilä materiaalia kuluu väistämättä nopeammin kuin uutta syntyy. Tilanne on olennaisesti erilainen jos reaktori toimii nopealla neutronispektrillä, jolloin fissioreaktion neutronituotto riittää hyötämiseen myös U238-Pu239 -kierrossa.



Toriumreaktorin eduksi lasketaan toisinaan myös se, että toriumia sisältävät malmiot ovat jakautuneet maankuoressa uraania tasaisemmin. Kolme suurinta uraanintuottajamaata ovat Kazakstan, Kanada ja Australia, joiden yhteenlaskettu osuus muodostaa yli 70 % maailmanmarkkinoista. Kuvassa on esitetty tunnettujen uraani- ja toriumvarantojen globaali jakautuminen. Uraanin osalta huomioidaan varannot joiden tuotantokustannukset ovat < USD 130/kgU. Uraanin kokonaisvaranto on tässä kategoriassa 6 142 200 tonnia (lähde: IAEA:n raportti "Uranium 2018: Resources, Production and Demand") ja toriumin 6 355 300 tonnia (lähde IAEA:n raportti "Uranium 2014: Resources, Production and Demand").

neella hyötäminen edellyttää nopean neutronispektrin reaktoreita³

Sen sijaan että toriumreaktoreita verrataan kevytvesireaktoreihin, vertailu pitäisikin oikeastaan tehdä nopeisiin hyötöreaktoreihin, jolloin ero luonnonvarojen käyttötehokkuudessa kaventuu käytännössä olemattomiin. Toriumiin perustuvan hyötöreaktorikierron etu onkin lähinnä se, että se voidaan toteuttaa myös termisen neutronispektrin reaktoreissa, mikä tuo keinovalikoimaan laajemman skaalan erilaisia teknologioita.

Wikipediassa toriumreaktorin yhdeksi eduksi mainittiin se, että polttoaineen valmistusprosessiin ei kuulu kallista väkevöintiä. Tämä on tavallaan täysin triviaali asia. Toriumilla ei ole lainkaan fissiiliä isotooppia, joten ei ole myöskään mitään mitä väkevöi-

dä. Kaikkiin hyötöreaktorikiertoihin kuuluu kuitenkin välttämättömänä osana reaktorissa säteilytetyn polttoaineen jälleenkäsittely, jossa uuden polttoaineen valmistukseen käytettävä fissiili aines erotetaan jätteeksi menevästä massavirrasta. Jälleenkäsittely edellyttää hankalaa kemiallista prosessia, jossa käsitellään erittäin korkea-aktiivisia aineita nestemäisessä olomuodossa. Vaikka uraanin väkevöinti nostaa polttoaineen hintaa, kallis jälleenkäsittelyprosessi jää vastaavasti kokonaan pois.

Onko toriumreaktorin käytetyn polttoaineen geologinen loppusijoitus välttämätöntä?

Kuten edellä todettiin, toriumreaktoreiden eduksi luetaan monesti myös se, että poltto-

aineeseen ei synny pitkäikäistä plutoniumia⁴, minkä vuoksi reaktorin jäte ei rohkeimpien väitteiden mukaan tarvitsisi lainkaan geologista loppusijoitusta. Nämä väitteet liittyvät siihen, että kevytvesireaktoripolttoaineeseen kertyvät aktinidi-isotoopit, erityisesti 24,000 vuoden puoliintumisaajalla hajoava Pu239, pitävät aktiivisuuden korkealla kymmenien tuhansien vuosien ajan. Vaikka toriumreaktori ei tuota mainittavasti plutoniumia, polttoaineeseen syntyy muita pitkäikäisiä aktinideja. Esimerkiksi uraanin U233-isotoopin puoliintumisaika on noin 162 000 vuotta. Lähempi tarkastelu paljastaakin, että myös käytetyn toriumipolttoaineen radioaktiivisuus jää hyvin pitkäksi aikaa esimerkiksi luonnossa esiintyvää uraanimalmia korkeammalle tasolle⁵.

Todellisuudessa loppusijoituksen turval-

⁴ Torium, uraani ja plutonium ovat jaksollisessa järjestelmässä alkuaineet 90, 92 ja 94. Kevyen ytimen muuttuminen raskaammaksi edellyttää neutronikaappausreaktiota, ja järjestysluvun kasvu radioaktiivista betahajoamista. Uraanin U238-isotooppi on yhden neutronikaappauksen ja kahden betahajoamisen päässä plutoniumin isotoopista Pu239. Toriumin Th232-ytimen tapauksessa neutronikaappausreaktioita pitäisi tapahtua yhteensä kuusi, jotta ketjussa voisi muodostua betahajoamisten kautta ensimmäinen plutoniumin isotooppi, Pu238. Näin pitkät transmutaatioketjut ovat reaktorissa äärimmäisen epätodennäköisiä, minkä vuoksi toriumipolttoaineeseen ei synny merkittävästi plutoniumia.

⁵ Vertailu hyötöreaktorikierron toimivan toriumreaktorin ja suoraan loppusijoitukseen perustuvan kevytvesireaktorin välillä ei myöskään ydinjätteen osalta ole täysin ongelmaton. Koko hyötöreaktorin idea on se, että polttoaineeseen syntyneitä fissiiliä isotooppia kierrätetään takaisin reaktoriin. Jos vertailu tehdään ainoastaan uraanipolttoaineeseen syntyvän Pu239:n ja toriumipolttoaineeseen syntyvän U233:n välillä, niin toriumreaktori on jo lähtökohtaisesti parempi vaihtoehto, sillä fissiili uraani ei edes päädy loppusijoitukseen. Ero uraani- ja toriumipolttoaineiden välillä kuitenkin kaventuu jos vertailu tehdään kevytvesireaktorin sijaan nopeaan hyötöreaktoriin.

lisuusanalyysijä ei kuitenkaan edes tehdä vertaamalla ydinjätteen radioaktiivisuutta uraanimalmiin tai muuhun enemmän tai vähemmän mielivaltaisesti valittuun referenssitasoon. Aktiivisuus on pelkkä lähde-termi, ja analyysien varsinaisen lopputuloksen määrää se, miten suuren säteilyannoksen kallioperään haudattu jäte aiheuttaa ympäristölle ja loppusijoitustilan yläpuolella asuvalle väestölle. Turvallisuussuunnittelu lähtee siitä, että loppusijoituksesta aiheutuvan säteilyaltistuksen on kaikkina aikoina ja kaikki epävarmuudet huomioiden jätävä merkityksellömän pieneksi suhteessa luonnollisesta taustasäteilystä aiheutuvaan annokseen. Käytännössä turvallisuuden osoittaminen edellyttää lähdermin arvioinnin lisäksi analyysijä esimerkiksi loppusijoituskapselin kestävydestä, radionuklidien liukenemisesta ja kulkeutumisesta, sekä pohjaveden liikkeistä kallioperässä ja loppusijoitustilan läheisyydessä.

Kaikki tekijät huomioiden edellä mainittu Pu239 ei pitkäikäisyydestään huolimatta ole loppusijoituksen kannalta erityisen ongelmallinen radionuklidi, sillä plutoniumin yhdisteet liukenevat erittäin huonosti veteen. Sama pätee moniin muihinkin pitkäikäisiin aktinideihin. Turvallisuuden kannalta merkittävämpiä isotooppeja ovat sen sijaan monet helposti kulkeutuvat fissiotuotteet, aktinidien hajoamistuotteet, sekä tietyt aktivoitumistuotteet, joita syntyy jopa polttoainepun rakenteissa olevista epäpuhtauksista.

Koska toriumreaktorin energiantuotanto perustuu kevytvesireaktoreiden tapaan fissioreaktioon, myöskaan loppusijoitettavan jätteen fissiotuoteinventaaareissa ei ole merkittäviä eroja. Pitkäikäisten tytärytimien kokonaismäärä vertautuu tuotettuun energiamäärään riippumatta siitä, minkälaisella polttoaineella tai polttoainekierrolla reaktori toimii. Se, että torium-polttoaineeseen ei synny plutoniumia, ei siis tarkoita sitä, etteikö kierrosta poistuvaa jätettä tarvitsisi eristää tuhansiksi vuosiksi ympäristöstä. Ainoa tapa päästä geologisesta loppusijoituksesta kokonaan eroon, on soveltaa toriumreaktoreille nykyistä löyhempiä turvallisuusstandardeja.

Ydinase materiaalin tuottaminen toriumreaktorissa

Uraanin fissiili U233-isotooppi soveltuu todistetusti ydinpommin rakentamiseen⁶, joten toriumreaktorin käyttö tällaiseen tarkoitukseen

ei ole ainakaan fyysikaalinen mahdottomuus. Se, että polttoainekierto on kuulunut olennaisena osana kemiallinen jälleenkäsittely, joka on varta vasten suunniteltu käyttökelpoisen aineksen erottamiseen, voidaan nähdä jopa erityisenä riskitekijänä.

Toriumreaktoreiden hyvää ”proliferaatioresistenssiä” perustellaankin usein sillä, että U233:n lisäksi polttoaineeseen syntyy myös pieniä määriä uraanin isotooppia U232, joka on voimakas gammasäteilyn lähde. Uraanin isotoopit kulkevat käsi kädessä kemiallisen jälleenkäsittelyprosessin läpi, ja lopputuotteen prosessointi ydinaseeksi soveltuvaan muotoon edellyttää niin tehokasta säteilysuojauksia, että teknologia ei ole aivan helposti toteutettavissa. Tätä argumenttia on kuitenkin kritisoitu siitä, että se olettaa ydinasetta havittelevien terroristien huolehtivan asianmukaisesti työsuojelusta, ja noudattavan ydinteollisuuden käyttämiä annosrajoja. Lähtökohta muuttuu olennaisesti, jos oletetaan että pommin käyttäjät ovat joka tapauksessa valmiit uhraamaan henkensä hankkeen toteuttamiseksi. Käytännössä U233-isotooppiin liittyvät ydinase materiaalikysymykset vertautuvat isotooppeihin U235 ja Pu239, mutta yhteistä kansainvälisesti hyväksyttyä linjaa ei toistaiseksi ole.

Mikä siis on lopulta vastaus otsikossa esitettyyn kysymykseen?

Tästä kirjoituksesta saattoi helposti saada sellaisen kuvan, että pitäisin toriumreaktoreita jo lähtökohtaisesti huonona ajatuksena. Mielestäni hypetyksen ongelma ei kuitenkaan ole itse teknologiassa, vaan pikemminkin sen ympärillä käytävässä keskustelussa. Torium ja muut edistyneet teknologiat tarjoavat paljon mahdollisuuksia kehittää ydinenergiantuotantoa uusille sovellusalueille, mutta muutos ei tapahdu yhdessä tai kahdessa. Monissa aiheita käsittelevissä kirjoituksissa odotukset asetetaan liian korkealle, ja uusien reaktortyyppien kuvitellaan kuin taikaiskusta ratkaisevan kaikki ongelmat. Jos näkökulma on tämä, lukijalle voi helposti syntyä sellainen mielikuva, että perinteiseen kevytvesireaktorteknologiaan jämähtänyt ydinenergia-ala ei edes yritä kehittyä esimällä uusia ratkaisuja.

Kuten jo aikaisemmin todettiin, suurimmat esteet ydinteollisuuden kehityksen tiellä eivät edes ole luonteeltaan teknisiä. Lähes kaikkien edistyneiksi luokiteltavien reaktortyyppien toimintaperiaatteet on demonst-

roitu käytännössä jo vuosikymmeniä sitten. Ydinenergiantuotannon alkuaikoina vaihtoehtoiset ratkaisut jäivät kuitenkin prototyyppiasteelle teollisuuden keskittäessä resurssinsa kevytvesireaktorteknologian kehittämiseen. 1970-luvun lopulta alkaen kuvioihin tuli vahvasti mukaan myös politiikka, joka leikkasi rahoituksen monelta lupaavalta kehityshankkeelta. Viime vuosikymmeninä uusien reaktorien rakentaminen on törmännyt myös rahoitusongelmiin, sillä paljon pääomaa vuosikymmeniksi sitovat projektit eivät kaikkien mielestä sovi enää ajan henkeen.

Lähes kaikki toriumreaktorin edut liittyvät siihen, että kyse on hyötöreaktorista, ja nykyisillä uraanin maailmanmarkkinahinoilla hyötöreaktorikiertoa pidetään yksinkertaisesti liian kalliina ja poliittisesti vaikeana vaihtoehtona olemassa olevalle teknologialle.

Tilanne voi muuttua tulevaisuudessa, jos ydinenergian käyttö lähtee vielä 1950-luvun ennusteita mukailevalle kasvu-uralle, ja laajan jälleenkäsittelyinfran rakentaminen tulee taloudellisesti mielekkääksi. Tällaisen skenaarion toteutuminen riippuu puolestaan esimerkiksi siitä, nähdäänkö ydinvoima tulevaisuudessa hyväksyttävänä keinona taistella ilmastonmuutosta vastaan. Teknisesti toriumreaktori tarjoaa varteenotettavan vaihtoehdon uraanipolttoainetta käyttäville nopeille hyötöreaktoreille, ja molemmat teknologiat tarjoavat ihmiskunnalle vähäpäästöisen energialähteen, jonka hyödynnettävyys ei käytännössä riipu luonnonvarojen riittävyydestä.

Teksti on alun perin julkaistu Fissioreaktori-blogissa: fissioreaktori.wordpress.com.

⁶ Yhdysvallat on tehnyt ydinkokeita U233:lla ainakin Teapot-koesarjassa vuonna 1957. Myös Intialla uskotaan olevan hallussaan U233:een perustuvaa ydinaseteknologiaa.

Olavi Vapaavuoren uran johtavana ajatuksena oli ydinturvallisuus

Olkiluoto 1:n ja Olkiluoto 2:n käytöstä vastannut jäi suomalaisen ydinvoiman historiaan.



TEKNIKAN LISENSIAATTI Olavi Vapaavuori kuoli Espoossa 11.11.2018. Hän oli syntynyt Tampereella 22.5.1928.

Vapaavuori teki pitkän uran ydinvoimaan liittyvissä tehtävissä sekä kotimaassa että kansainvälisesti. Hän piti uransa suurimpana saavutuksena osallisuutta Olkiluodon kahden ensimmäisen ydinvoimalaitosyksikön hyvään käytettävyyteen. Ruotsalaisen Asea-Atom AB:n toimittamat Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2 -laitosyksiköt ovat edelleen maailman ydinvoiman käytettävyytilastojen kärjessä.

Vapaavuori valmistui sähköinsinööriksi vuonna 1952. Hän suoritti jatko-opintoja Voimayhdistys Ytimen stipendiaattina Yhdysvalloissa vuonna 1958. Tekniikan lisensiaattiksi hän valmistui vuonna 1963. Vapaavuori työskenteli energiakonsulttiyhtiössä Ekonossa jaostopäällikön tehtävissä vuoteen 1971 asti, jolloin hän siirtyi Teollisuuden Voima Oy:n (TVO) käyttöosaston päälliköksi.

TVO:n jälkeen hän toimi Energiataloudellisen yhdistyksen ETYn toimitusjohtajana keskeisenä energia-alan verkostoitujana. ETYn toimitusjohtajana hän oli jäsenenä Ekonon hallituksessa, jossa olivat paitsi teollisuuden vuorineuvokset myös esimerkiksi Imatran Voiman toimitusjohtaja Kalevi Numminen. Ryhmässä olivat mukana Suomen vaikutusvaltaisimmat energiapäättäjät poliitikkoja lukuun ottamatta.

Vapaavuori oli yksi suomalaisen ydinvoima-alan pioneereista, joukossa, johon kuuluivat mm. Erkki Laurila, Pekka Jauho, Kalevi Numminen, Magnus von Bonsdorff, Jaakko Ihamuotila ja Antti Vuorinen.

Yksi yhdistävä tekijä miehillä oli Triga-tutkimusreaktori. Erkki Laurila lähetti Pekka Jauhon tutustumaan Triga-reaktoriin ja sen

valmistajiin keväällä 1959. Jauho piti sitä parhaana vaihtoehtona Suomeen. Reaktori oli ominaisuuksiltaan stabiili ja soveltui turvallisuutensa ansiosta myös opiskelijoiden käyttöön. Trigan toimittaja General Atomic kutsui suomalaisia asiantuntijoita kursseille, ja San Diegoon lähtivät Olavi Vapaavuori ja Antti Vuorinen.

Seuraavaksi Vapaavuori lähti Norjaan OECD:n Halden-projektiin tutkimusreaktorille vuosiksi 1959–1964. Se oli hänelle ydinreaktoritiedon ihmemaa, josta hän otti kaiken irti. Vapaavuoren tapana oli pyytää kaikista kiinnostavista papereista kopiot. Hänen kerrotaan lähteneen Haldenista mukanaan ”junavaunulin” kopioita.

Vapaavuori työskenteli kuin mestarisalapolisi; hän saattoi keskittyä aivan pieniin, joidenkin mielestä epäoleellisiin, yksityiskohtiin, mutta hän säilytti silti asiantuntijan kokonaisnäkemyksen. Vapaavuoren ajattelussa johtavana tekijänä oli ydinturvallisuus.

Ydinvoimasuunnittelun pioneerina

Halden-projektin jälkeen Vapaavuori pääsi ”oikean ydinvoimalaan”, kanadalaisen luonnonuraania polttoaineenaan käyttävän raskasvesilaitoksen kimppuun. HWR-275 -hanke vuonna 1964 oli suomalaisen ydinvoimasuunnittelun pioneerityötä. Se toteutettiin sekä Suomessa että Kanadassa. Suomalaisilla oli kaksi ”yhdysupseeria”, Olavi Vapaavuori ja Jaakko Ihamuotila, jotka tekivät Canadian General Electricin pääkonttorissa töitä luodakseen valmiudet ydinvoimalaitosprojektiin. Miehet saivat ydinvoimalaitoksen valmiiksi paperilla lähes täydellisenä, mistä oli merkittävä etu, kun Suomessa ruvettiin suunnittelemaan

omaa ydinenergiaan perustuvaa voimalaitosta. Olavi Vapaavuori sai HWR-275 -hankkeesta hyvän lähtökohdan tuleviin projekteihinsa.

Vapaavuori suoritti Kotkan Höyryvoima Oy:n nimissä, ydinvoimalaitosta koskevien tarjousten vertailun. Kotkan Höyryvoima oli teollisuuden yhteisyritys, joka valmisti valtionyhtiö Imatran Voiman rinnalla ydinvoimalahanketta. Tarjoukset olivat samat, mitkä Imatran Voima oli saanut. Vapaavuoren tekemän vertailun lopputulos oli sama, mihin Imatran Voimassa suurella miehityksellä päädyttiin.

Ydinvoimaloiden säteilyvalvonta nousi pinnalle vuoden 1967 kesällä, kun Imatran Voima alkoi suunnitella jatkoa keväällä keskeytetylle atomivoimalaitoksen tarjouskilpailulle. Säteilyturvallisuusasiain neuvottelukunnan ja Atomienegianeuvottelukunnan keskinäisissä neuvotteluissa todettiin, että turvallisuusvalvonnan keskittäminen Säteilyfysiikan laitokselle atomivoimalaitoksen monimutkaisissa prosesseissa olisi järkevää.

Kauppa- ja teollisuusministeriö asetti tämän jälkeen Olavi Vapaavuoren vastaamaan lainsäädännössä asetetuista atomienegian käytöstä aiheutuvista, turvallisuuteen liittyvistä tehtävistä. Hän hoiti tehtäviä Ekonosta käsin. Ekono ja Säteilyfysiikan laitos olivat läheisessä yhteistyössä, mikä kertoi myös siitä, kuinka vähän alan asiantuntijoita Suomessa oli vielä 1960-luvulla.

Tuolloin tehtiin organisaatorajat ylittäviä rekrytointejä, jotta saatiin yhteisesti käytettäväksi suomalaista kovaa ydinturvallisuuden asiantuntemusta. Ilmiö kuvastaa myös atomivoimaan liittyvien turvallisuuskysymysten tärkeyttä koko alalle – turvallisuus- ja valvonta-asoiden hoitaminen parhaalla mahdollisella tavalla oli välttämätöntä ja kaikkien etu.

Kun päälle painoi Loviisan ydinvoimalaprojekti, asiantuntijoita yhdistäväksi tekijäksi Suomeen perustettiin Atomiteknillinen Seura, ATS vuonna 1966. Vapaavuori kuului ATS:n perustajajäseniin. Seura ryhtyi pian perustamisensa jälkeen luomaan suomenkielistä ydinvoimasanastoa. Vapaavuori toimi sanastotyöryhmän puheenjohtajana.

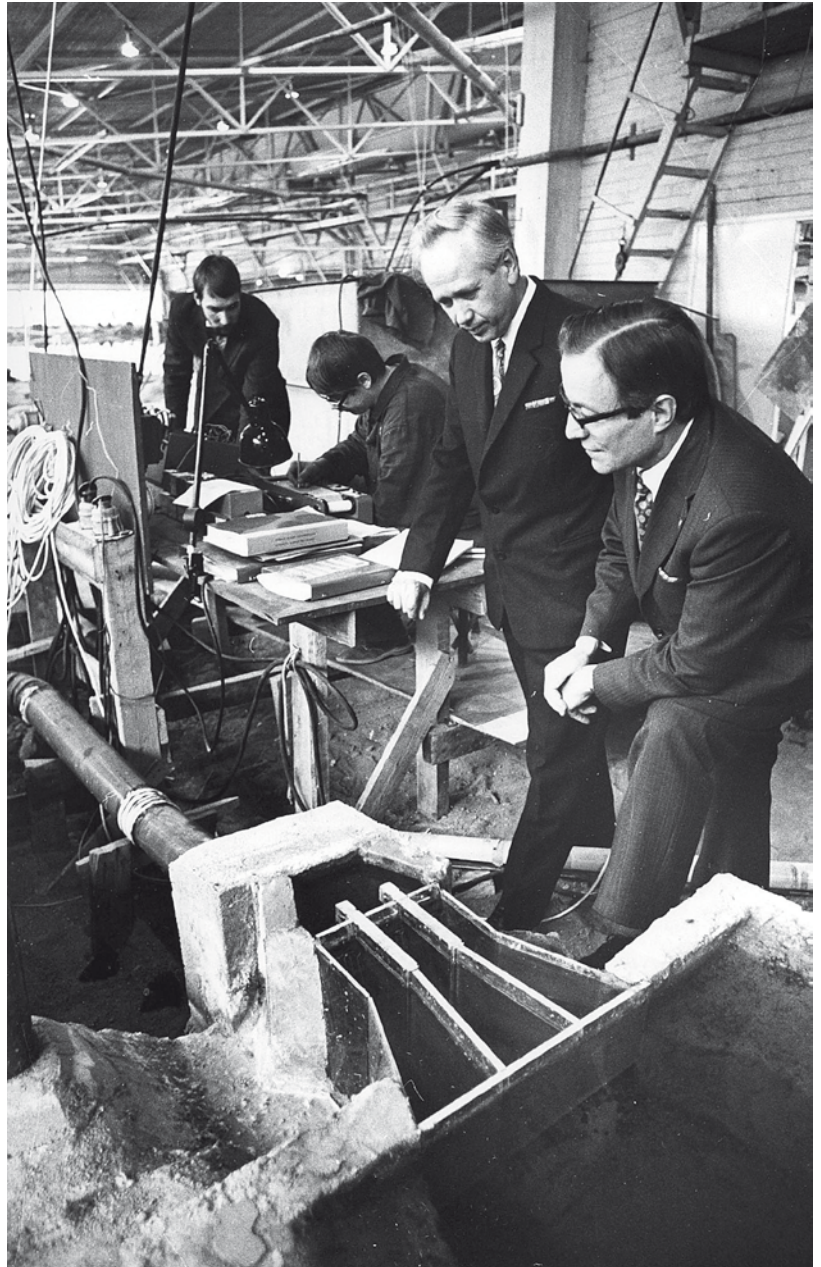
Vapaavuoren pesti atomienergian käyttöturvallisuuden ylimpänä valvojana oli väliaikainen ratkaisu. Uusia atomivoimalaitoksia varten ei vielä ollut lupamenettelyä, jonka perusteella yhtiöiden voimalaitoshakemuksia voitaisiin käsitellä. Neuvottelukunnat asettivat yhteisen työvaliokunnan selvittämään lupamenettelyn muotoa ja siihen tarvittavia resursseja. Työvaliokunnan puheenjohtajaksi tuli Antti Vuorinen ja jäseniksi Olavi Vapaavuori sekä Aulis Isola. Isola toimi sittemmin säteilystä vastaavana Säteilyturvallisuuslaitoksen ylijohtajana.

Työvaliokunnan mietinnön pohjalta päädyttiin malliin, joka keskitti valvontaa merkittävästi aikaisemmasta Säteilyfysiikan laitoksen, kauppa- ja teollisuusministeriön sekä atomienergianeuvoittelukunnan kesken jaotellusta järjestelmästä. Päätökset alkoivat nostaa Säteilyfysiikan laitoksen asemaa voimayhtiöiden sidosryhmänä, johon säteilyturvallisuusasiantuntemus oli keskittynyt. Näistä aineksista kehittyi nykyinen Säteilyturvakeskus, STUK, jonka pääjohtajaksi Vuorinen eteni. Samalla syntyi suomalaisen ydinturvallisuuskulttuurin perusajatus: säteilysuojelun ja reaktoriturvallisuuden yhdistelmä. Kansainvälisesti ainutlaatuinen yhdistelmä sai aikanaan tunnustusta myös Kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n piirissä. Suomi oli edelläkävijä, ja esimerkiksi Ruotsi soveltaa tällä hetkellä vastaavaa säteily- ja reaktoriturvallisuuden viranomaisyhdistelmää.

Vapaavuori edusti myös Wienissä Suomea IAEA:n järjestämissä ydinpolttoainekiertoa koskeissa kansainvälisissä neuvotteluissa. Suomalaiset pääsivät ratkaisevasti vaikuttamaan päätöksen syntymiseen, joka määritteli, mistä kohdasta IAEA:n polttoainekiertoa koskeva, ydinsulkusopimuksen edellyttämä varsinainen valvonta on aloitettava.

TVO:ssa Olkiluodon käytöstä vastaavana

TVO perustettiin vuonna 1969. Vapaavuori palkattiin toimitusjohtajaksi Magnus von Bonsdorffin jälkeen ensimmäisten joukossa ydinvoiman rakentajayhtiöön. Hän oli alkuvaiheista mukana Olkiluodon kahden ensimmäisen rakentamisessa ja käytössä.



Olavi Vapaavuori virtausmallikokeessa (kuva: TVO).

Ydinvoimalaitosten tekemiseen liittyy aina kolme erilaista tehtäväkenttää: laitoksen rakentaminen, ydinpolttoainekierron aikaansaaaminen ja kolmantena tehtäväkenttänä käyttökonekunnan töihin otto ja kouluttaminen sekä huoltoon, käyttöön, käyttöönottoon ja vuosiseisokkeihin liittyvien tehtävien suorittaminen ja näihin liittyvien ohjeiden tekeminen. Vapaavuori sai vastuulleen kaksi viimeksi mainittua tehtäväkenttää. Hän osallistui keskeisesti TVO:n saamien ydinvoimalaitoksen toimitusvaihtoehtojen vertailuun, Asea-Atomin ja TVO:n

välisen sopimuksen muokkaamiseen sekä laadunvarmistusjärjestelmän kehittämiseen.

"Sovin toimitusjohtajan kanssa, että käyttösuunnitellaan rinnan mutta erossa projektoriganisaatiosta ja sain näin täyden rauhan rakentaa ja kehittää hänen minulle antamiaan tehtäviä. Tämä päätös tehtiin, koska ymmärsimme, ettei hyvinkin suunniteltu ja rakennettu ydinvoimalaitos voi toimia, ellei se saa "ruokaa" eikä sillä ole hyvin koulutettua henkilökuntaa, joka kykenee tehokkaasti sitä käyttämään ja huoltamaan", Vapaavuori kertoi.



Olavi Vapaavuori ATS:n 35-vuotisjuhlissa Seppo Vuoren seurassa.

"Hoidin yhdessä joukkoni kanssa polttoainekierron kuntoon tekemällä kaikki siihen liittyneet sopimukset: raakauraani Kanadasta, uraanin väkevöintityö Neuvostoliitosta, kuljetus Leningradista Västeråsiin saksalaisin voimin ja polttoaineriippujen valmistus Asea-Atomilla Västeråsissa ja kuljetus Olkiluotoon. Kanadassa tosin ilmoitettiin uraania toimittavien välillä sovitusta kartellisopimuksesta. Näin uraania ei ollut sillä hetkellä lainkaan saatavilla. Saimme heidät kuitenkin muuttamaan mielensä ja sopimus tehtiin".

"TVO:n hallituksen puheenjohtaja, Nokian vuorineuvos Björn "Nalle" Westerlund totesi minulle: "Mene Moskovaan äläkä tule takaisin ennen kuin väkevöintityösopimus on allekirjoitettu!" Minulla oli taskussani hyvien kansainvälisten yhteyksieni vuoksi kaikkien tehtyjen väkevöintityösopimusten kopiot, myös sen sopimuksen kopio, joka oli juuri allekirjoitettu Saksan liittotasavallan ja Neuvostoliiton välillä. Sopimusteksti sekä englanninkielisenä että venäjänkielisenä tehtiin lopulta kuitenkin Suomessa. Laitimme teksti hyväksyttiin tämän jälkeen Moskovassa melkein sellaisenaan."

Olkiluoto 1 kytkettiin valtakunnan sähkönsiirtoverkkoon vuonna 1978 ja Olkiluoto 2 vuonna 1980. Kummankaan laitoksen käyttävyys ei ollut alussa erityisen hyvä. Vapaavuoren työ alkoi kantaa hedelmää vasta muutaman vuoden kuluttua käytettävyyden noustua kansainvälisellä tasolla maailman kärkeen.

Olavi Vapaavuorelle ei ollut paikkaa uudistuneessa Olkiluodon organisaatiossa. Vuonna 1983 hän siirtyi Energiataloudellisen yhdistyksen ETYn toimitusjohtajaksi. ETY omisti insinööritoimisto Ekonon.

Vapaavuori muisteli lämmöllä TVO:n hallituksen varapuheenjohtajalta, vuorineuvos Wolter Westerholmilta jälkikäteen saamiaan kiitoksia. Hän oli Westerholmin tunnustuksen mukaan ollut luomassa pohjaa kahdelle käytettävyydeltään maailman parhaalle ydinvoimalaitoksikille. Westerholm toimi aikanaan myös projekti aikaisen rakennustoimikunnan puheenjohtajana.

ETYssä yhteyksien luoja

ETYn toimitusjohtajana Olavi Vapaavuori oli näköalapaikalla. Hän rakensi sekä kansallisen että kansainvälisen verkostonsa. Kansallisella tasolla hän piti yhteyttä omistajayhtiöiden vuorineuvostasosta suorittajiin. ETYn valiokunnat yhdistivät suomalaisia energiakenttää ja ne jäivät elämään vielä Ekonon konkurssin ja ETYn lopettamisen jälkeen vuonna 1993.

Kansainvälisellä tasolla Vapaavuori oli aktiivinen Maailman Energiakokouksen WECin puitteissa vielä eläkepäiviensä aikana. Vapaavuori ei ujoitellut nostamasta ydinvoimaa esille WECissä, vaikka ydinvoima ei alun perin ollut järjestön erityisessä suosiossa. Hänen kansain-

välisyydestään kertoi sekin, että hänelle kertyi noin 250 lentomatkaa maailmalle.

Luonnossa kulkeminen, marjojen ja sienien poiminta, maratonjuoksu ja pitkänmatkan hiihto Vuokatissa loma-asunnon lähellä kiinnostivat alati liikkuvaa miestä. Perheen huvila Sotkamossa mustikkametsineen oli hänelle latautumispaikka. Siellä hän kävi keskusteluja mm. Veikko Huovisen kanssa, joka sai viisaalta insinööritä vinkkejä atomien maailmasta.

Hänen erityiskiinnostuksenaan oli valokuvaus ja myöhemmin videokuvaaminen. Videokuvaajana hänen innostustaan kuvaa se, että kun WECin kokouksen yhteydessä Houstonissa vuonna 1997 vierailtiin rodeoesityksessä, hän pyöri Mirja-vaimon kauhaksi kameroineen jo osin rodeokentän sisäpuolella. Olavi Vapaavuoresta täytyy sanoa, että hän oli myös peloton, kun hän johonkin ryhtyi.

Vielä eläkepäivinä Vapaavuori seurasi tarkasti ydinvoima-asioita. Hän osallistui tiiviisti ATS:n senioritoimintaan. Olkiluoto 3 -projektia hän kommentoi kriittisesti. Hän ei pitänyt voimalaitoksen tilaamista Ranskasta hyvänä ratkaisuna, vaan kannatti Siemensin tarjoamaa vaihtoehtoa.

Vapaavuori totesi, että ranskalaisten tapaa rakentaa ydinvoimaa ei vastannut suomalaista ydinturvallisuusajattelua. "Heidän tapansa rakentaa ydinvoimalaitoksia oli samankaltainen kuin se tapa, jota meillä käytetään rakennettaessa hiilivoimalaitoksia", hän kommentoi.

Vapaavuori vieraili myös Japanissa ATS:n ryhmän mukana vuonna 2006. Yksi vierailun kohteista oli Mitsubishi Heavy Industrien konepaja Kobessa. Siellä valmistettiin Olkiluoto 3:n paineastia. Suomalaisia ei päästetty konepajan lattiatasolle, mistä Vapaavuori ilmaisi pettymyksensä. Hänen arvelunsa mukaan ranskalaiset olivat kieltäneet konepajaa puhumasta paineastia-asiasta kaikkien Olkiluoto 3:ssa jo havaittujen vaikeuksien jälkeen.

Olavi Vapaavuori oli ydinvoima-alan vaikuttaja, jonka innostus ja innostavuus yhdistettynä ydinfysiikan ja organisoimisen osaamiseen jätti jälkensä suomalaiseen energia-alan historiaan.

Olavia jäivät kaipaamaan ja muistelemaan omaisten sekä entisten kollegojen ohella laaja ystäväpiiri ainakin Atomiteknillisessä Seurassa, ESLOK ry:ssä ja Rotareissa. ✿

Risto Valkeapää

Kirjoittaja on energia-alan historiaan erikoistunut tietokirjailija, ATS-Seniorien jäsen ja Olavi Vapaavuoren ystävä.

Luotettava kumppani vaativissa toimintaympäristöissä

Laaja-alaiseen ydinvoimaosaamiseen nojaava Platom luo uusia työpaikkoja alalle antamalla asiantuntijoilleen mahdollisuuden kehittää liiketoimintaa oman asiantuntijuutensa ympärille. Asiakkaille yrityksen kasvu ja uusien liiketoimintojen kehitys näkyy palvelutarjonnan monipuolistumisessa.

Teksti: Joel Maunula, Juho Ikonen, Pasi Junninen & Ville Kakkonen **Kuvat:** Platom Oy

P LATOM OY on johtava yksityinen ydinvoima-alan konsulttiyritys Suomessa. Vuodesta 1998 alkaen yritys on erikoistunut toimimaan luotettavana kumppanina vaativissa toimintaympäristöissä.

Vuonna 2019 tarjoamme palveluita Prosessianalyysi-, Elinkaarihallinta-, Uraanin rikastus-, Esiselvitys-, Muutostyö- ja Luvitusiimeissä. Tulevaisuudessa palvelutarjonta monipuolistuu muun muassa riippumattomien turvallisuusarviointien, säteilysuojelun ja laadun tullessa osaksi tarjontaamme. Palvelukehityksemme

perustuu aina tunnistettuun osaamiseen ja kokemukseen. Asiantuntijamme ovat kehitystyömme kulmakivi.

Asiakkaalle tuotettava lisäarvo perustuu monipuoliseen ydinvoima-alan asiantuntemukseen ja kokemukseen monista eri laitoksista. Räättälöimme työt aina asiakkaan tarpeen mukaisesti ja tyypillisesti toimeksiantomme ovat asiantuntijapalveluita ja järjestelmien toimituksia. Toimeksiantannon suorittajilla on käytettävissään koko Platomin asiantuntemus.

Uraaniheksafluoridin käsittelyjärjestelmät

Yksi Platomin erikoistumisalueista on uraaniheksafluoridin (UF_6) käsittelyosaaminen. UF_6 :n käsittely on hyvin olennainen vaihe ydinpolttoaineen valmistusketjussa, koska uraani rikastetaan tässä muodossa. Platom toimittaa järjestelmiä UF_6 :n siirtoon, syöttöön ja näytteenottoon. Ydinpolttoaineen valmistuksessa syntyvän, tyypillisesti jätteeksi luokiteltavan köyhdytetyn uraanin turvalliseen käsittelyyn tarvitaan myös autoklaavilaitteistoja. Näissä hankkeiden pääasiallinen tarkoitus on ympäristöriskien minimointi, sillä vuosikymmenten aikana terässylintereihin säilötty köyhdytetty uraani täytyy siirtää ja käsitellä ennen kuin sylinteriiden tiiveys pettää korroosion vaikutuksesta.

UF_6 on huoneen lämmössä kiinteä aine. Käsittelyprosessin mukaan UF_6 , joko nesteytetään tai höyrystetään. Nestemäisen ja kaasumaisen UF_6 :n käsittely edellyttää erityistä huolellisuutta, sillä yhdiste reagoi huoneilmassa esiintyvän veden kanssa muodostaen myrkyllistä vetyfluoridi-kaasua. Tästä syystä erityisissä sylintereissä säilytettävän UF_6 :n käsittely tulee toteuttaa hallituissa olosuhteissa autoklaavin sisällä. Mikäli UF_6 :a pääsee jostain syystä vuotamaan säilytys- ja letkuista pois, toimii autoklaavi suojana, jottei UF_6 leviä hengitettävään ilmaan. Lisäksi järjestelmien turvallisuuden kannalta kriittisten toimintojen toteuttamisessa hyödynnetään kahdennettuja komponentteja sekä langoitettuja ohjausjärjestelmiä digitaalisen ohjausautomaation rinnalla. Autoklaavien lisäksi järjestelmät sisältävät jäähdytys- ja sylinterinkäsittelylaitteistoja.

Syöttöautoklaavilla UF_6 syötetään rikastusprosessiin esim. sentrifugeille, joissa UF_6 rikastetaan. Rikastusprosessin alussa $U235$:n



DI Joel Maunula
Tiiminvetäjä, Elinkaarihallinta
Platom Oy
joel.maunula@platom.fi



DI Juho Ikonen
Myynti
Platom Oy
juho.ikonen@platom.fi



DI Pasi Junninen
Päällikkö, Prosessimallinnus
Platom Oy
pasi.junninen@platom.fi



Platom perusti toimiston Helsinkiin loppuvuodesta 2018. Kuvassa Sami Kiviluoto ja Ville Nurmilaukas.

pitoisuus on luonnonnuraanin tasolla eli noin 0,7 %. Ydinreaktorin polttoaineeksi U235:n pitoisuus nostetaan tyypillisesti 3–5 % tasolle. Rikastuksen jälkeen pitoisuus todennetaan analysoimalla näyte, joka on otettu UF₆:sta rikastusprosessin jälkeen. Tämä on Platom näytteenottoautoklaavien tyypillinen käyttökohde, jossa säilytysylinteristä siirretään hallitusti pieni edustava näyte näytteenottosylin-tereihin laboratoriotutkimuksia varten.



DI Ville Kakkonen
Henkilöstöpäällikkö
Platom Oy
ville.kakkonen@platom.fi

Platom osaaminen UF₆:n käsittelystä ja siihen soveltuvien järjestelmien toteuttamisesta on karttunut vuosikymmenten varrella. Ensimmäiset projektit toteutettiin yhteistyössä Fortumin kanssa ja niiden kohdemaana oli Venäjä. Sitten Platom on toimittanut järjestelmiä Venäjän lisäksi myös Kazakstaniin ja Yhdysvaltoihin. Seuraavana vuorossa on mahdollisesti Englanti. Järjestelmien toteutuksessa tarvitaan monenlaista insinööriosaamista – Platomin tiimi koostuu muun muassa mekaanisen suunnittelun, prosessisuunnittelun, paineastiasuunnittelun, sähkö- ja automaatio-suunnittelun sekä kemian alan ammattilaisista. Jokaista asiantuntijaa yhdistää Platomin kulttuurissa vahvasti elävä turvallisuusajattelu. Ydinvoima-alalle tyypillisesti turvallisuusnäkökulma on lähtökohhta kaikelle suunnittelulle.

UF₆-ratkaisuihin erikoistuneet asiantuntijamme Janne Matilainen ja Hannu Torniainen kuvaavat työtään innovatiiviseksi ympäristöjen vaativuudesta ja vaatimusmäärittelyistä huolimatta. Jokainen projekti toteutetaan uniikisti asiakkaan lähtökohdista. Siksi jokainen projekti on myös omalla tavallaan mielenkiintoinen. Vuosien varrella UF₆-ratkaisujen parissa

työskentely on vienyt ympäri maailmaa, mikä lisää työn kiinnostavuutta entisestään.

Esiselvitys ja muutostyöt

Esiselvitys voidaan toteuttaa omana erillisenä projektina tai liittää osaksi muutostöitä. Esiselvitystä tarvitaan myös New Build -hankkeissa, joissa voimme hyödyntää pitkälti samaa asiantuntijaosaamistamme. Toteutamme muutostöitä aina esisuunnittelusta käytöstäpoistoon. Perussuunnittelu, mekaaninen suunnittelu sekä sähkö- ja automaatio-suunnittelu, luvitus ja kelpoistus, käyttöönotto, esivalmisteet ja laitteet, asennus ja tarkastukset kuuluvat kaikki olennaisena osana Muutostyötiimin palvelutarjontaan.

Viimeisimpänä muutostyönä olemme toteuttaneet muun muassa voimalaitoksen lauhteenpuhdistusjärjestelmän osittaisen modernisoinnin avaimet käteen -toimituksena. Muutostyöt laitetoimituksineen tulevat olemaan keskeisiä projektejamme myös tulevaisuudessa. Muutostyötiimimme osaaminen koostuu noin 20 asiantuntijan kokonaisuudesta ja yli 20 vuoden kokemuksesta Ruotsissa ja Suomessa. Muutostöiden olennaisena tekijänä toimii lisäksi kattava alihankintaverkosto.

Ikääntymisenhallinta

Ikääntymisenhallinta kuuluu Platomin elinkaarihallinnan palveluihin. Elinkaarihallintatiimi toimittaa asiakkaillemme muun muassa kunnossapidon riittävyysarvioita, YVL A.8 ikääntymisenhallintaohjeita, teknologisen ikääntymisenhallinnan selvityksiä ja ennakoivan kunnossapidon palveluita. Platomin Elinkaarihallintatiimi koostuu mekaniikka-, prosessi-, ja sähköautomaatio-osaajista.

Ikääntymisenhallinnan tehtävänä on کارtoittaa millä tavalla ydinvoimalaitoksen laitteet ikääntyvät ja varmistaa, että niille tehtävät kunnossapidon ja kunnonvalvonnan sekä käytön toimenpiteet ovat riittäviä sekä oikeita, jotta ikääntyminen pysyy hallinnassa. Ikääntymisenhallinta pohjautuu YVL A.8-ohjeeseen, joka asettaa vaatimukset luvanhaltijalle ikääntymisenhallinnan toteuttamisesta.

Käytännössä ikääntymisenhallintatiimi toimii asiakkaan tukena tuottaen ikääntymisenhallintaohjelmia ja tehden kunnossapidon riittävyysarvioita. Ikääntymisenhallintaohjelmien tarkoitus on koota tietoa laitteiden ikääntymisestä ja niille tehdyistä toimenpiteistä, joilla on ikääntymistä hallitsevia vaikutuksia. Kunnossapidon riittävyttä arvioidaan vertaamalla laitteille tehtäviä kunnossapidon, kunnonvalvonnan ja käytön toimenpiteitä niiden kokemiin ikääntymisilmiöihin ja arvioimalla toimenpiteiden kattavuutta.

Prosessianalyysit

Prosessianalyysillä tarkoitetaan laitoksen järjestelmien toiminnan analysointia tietokoneavulla. Analyysijä toteutetaan prosessien tehokkuuden kehittämisen sekä

turvallisuuden varmistamisen näkökulmista, usein molemmista samanaikaisesti.

Tehokkuuden parantamisessa yleensä on kyse jonkin yksittäisen prosessin toiminnan optimoinnista. Optimointia varten rakennetaan prosessimalli, jota käytetään simuloimaan eri käyttötilanteet uudella konfiguraatiolla ennen muutosten varsinaista toteuttamista käytännössä.

Tyypillinen käytännön tapaus on laitemuutosten validointi, kun haetaan prosessiparannuksia vaihtamalla uudet energiatehokkaamat pumput vanhojen tilalle. Analyysin avulla mahdolliset ongelmakohdat huomataan hyvissä ajoin ja ehditään korjata suunnitteluvaiheessa. Euroja säästyy, kun ei päästetä virheitä läpi suunnittelusta käytännön toteutukseen.

Prosessianalyysitiimissä työskennellään myös vakavien onnettomuuksien analyysien, PRA-analyysien sekä reaktoripolttoaineen käyttäytymiseen liittyvien analyysien parissa. Turvallisuusanalyysillä testataan erilaisia käyttöhäiriö- ja onnettomuustilanteita viranomaisvaatimusten mukaisesti ja varmistetaan, että laitoksen järjestelmien toimintaperiaate ylläpitää turvallisuutta. Työn tuloksena voi olla esimerkiksi muutos laitoksen häiriötilaneohjeisiin, jotta laitoksesta saadaan entistä turvallisempi. Usein lopputuloksena kuitenkin on varmistus siitä, että järjestelmien toiminta täyttää turvallisuusvaatimukset.

Termohydrauliikan, virtaustekniikan ja lämmönsiirron osaaminen luo perustan prosessianalyysiasiantuntijan työlle. Prosessin toiminnan ymmärtäminen vaatii syvällistä perehtymistä järjestelmien, komponenttien ja häiriötekijöiden sielunelämään mutta myös

käytettävien työkalujen toiminta tulee tuntea. Platomin Prosessianalyysitiimi käyttää usein työkaluna suomalaista Apros-ohjelmaa.

Asiantuntijuudesta liiketoimintaa

Suomessa on valtavasti ydinvoima-alan kokeneita asiantuntijoita, joiden osaamisen valjastaminen palveluiden ja tuotteiden muotoon mahdollistaa hyvin kilpailukykyisen liiketoiminnan sekä kotimaassa että vientimarkkinoilla. Suurin osa näistä potentiaalisista asiantuntijoista ovat kuitenkin keskittyneet tiettyjen jo vakiintuneiden työtehtävien hoitamiseen. Uusien tuotteiden ja palveluiden kehittäminen vaatii intohimoa, aikaa, osaamista, resursseja ja kykyä tunnistaa potentiaaliset liikeideat. Vaikka asiantuntijalla olisi intohimoa ja kykyä kehittää uutta liiketoimintaa, siihen ei yleensä ole tarjolla mahdollisuutta pakollisten työtehtävien täyttäessä kalenterin.

Miten asiantuntijuudesta sitten saadaan tehtyä liiketoimintaa? Ratkaisuja on varmasti useita erilaisia, mutta Platomilla on uusi tapa lähestyä tätä ongelmaa. Meidän mielestämme yrityksen on alettava tarjota palveluja asiakkaiden lisäksi myös henkilökunnalle. Näillä palveluilla tarkoitetaan ydin- ja tukiprosessien mukaisia toimintojamme. Platomilla ydinprosesseja ovat esimerkiksi myynti ja markkinointi sekä liiketoiminnan kehittäminen. Tukiprosesseista löytyy muun muassa henkilöstö-, talous- ja tietohallinto. Tarjoamme siis kaikki nämä palvelut asiantuntijoidemme käyttöön.

Kun asiantuntija haluaa alkaa kehittää uutta liiketoimintaa, hän kääntyy luonnollisesti yrityksen liiketoiminnan kehittäminen -palvelun



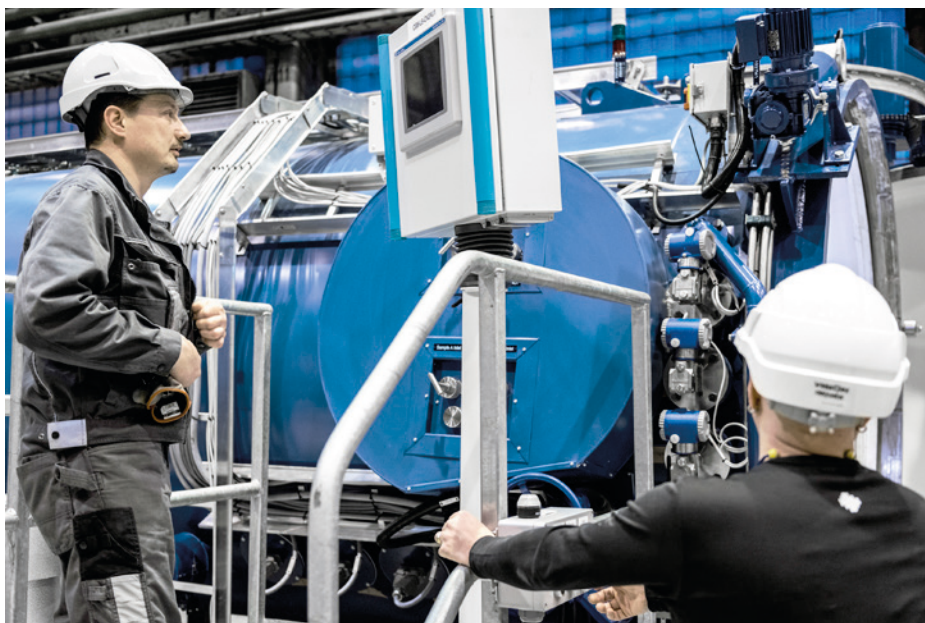
Miika Puukko
toimitusjohtaja

Platom 20 vuotta

PLATOM PERUSTETTIIN 20 VUOTTA SITTEN Mikkeliin nimellä Rejlers Engineering Oy. Isäni Kalevi Puukko, joka oli vuonna 1980 perustanut Rejlers Oy:n, päätti palata takaisin pienen yhtiön operatiiviseen johtoon ja yksinomaan ydinvoiman pariin. Ensimmäisten toimintavuosien aikana yhtiö keskittyi ruotsalaisten voimalaitosten jätteenkäsittelykonsultointiin sekä UF₆ autoklaavitoimituksiin hyvässä yhteistyössä FNS:n (Fortum Nuclear Services) kanssa. Päällimmäisenä noista vuosista itselleni on jää-

nyt mieleen pitkä ja aito YYA-henkinen yhteistoiminta FNS:n Juhani Johanssonin autoklaavijoukkueen kanssa.

Johdin itse Platomia ensimmäisen keran vuosina 2004–2010, minkä kuluessa yhtiö kasvoi vajaa 20-henkiseksi joukkueeksi. Jätteenkäsittelykonsultoinnin paino siirtyi Ruotsin laitoksilta Loviisan laitokselle ja Ignalinan purkamista valmistelevalle projektin hallintayksikön konsultointityöhön. Merkittävä uusi tukijalka syntyi Apros-pohjaisesta proses-



Platomin näytteenottoautoklaaveja käytetään tyypillisesti todennettaessa U_{235} :n pitoisuus UF_6 :ssa rikastuksen jälkeen.

puoleen. Uutta liiketoimintasuunnitelmaa kehitetään hyväksi havaittujen työkalujen avulla hyödyntäen muita Platomin asiantuntijoita näkemyksen parantamiseksi. Kun liiketoimintasuunnitelma on saatu valmiiksi ja kaikki tarvittavat selvityksen päätöksenteon tueksi on saatavilla, tehdään päätös suunnitelman toteuttamisesta. Kaikki suunnitelmat eivät tietenkään mene toteutukseen saakka, mutta

suunnitteluprosessiin osallistuneet ovat varmasti oppineet paljon uutta.

Asiantuntijalla on nyt suunnitelmat ja lupa käyttää yrityksen palveluja suunnitelman toteuttamiseen. Asiantuntija voi aloittaa esimerkiksi tilaamalla idealleen palvelumuotoilun ja tarvittavat esitys- ja markkinointimateriaalit. Markkinointimateriaalin valmistuessa asiantuntija voi kääntyä myyntipalvelun puoleen,

jossa käydään läpi liiketoimintasuunnitelmasa kartoitetut myyntikanavat ja sovitaan jatko-toimenpiteet asiakasrajapinnassa. Kun asiantuntija lähtee asiakkaan luo hän saa tuekseen kollegan, jolla on jo kokemusta asiakasrajapinnassa toimimisesta. Jos asiakas on kiinnostunut uudesta palvelusta, pääsee asiantuntija vastaamaan palvelun tarjoamisesta asiakkaalle. Asiantuntija jatkaa palvelun kehittämistä palveluntarjonnan yhteydessä yhteistyössä asiakkaan kanssa hyödyntäen yrityksen asiantuntijalle tarjoamia palveluita.

Asiantuntijan ei tietenkään tarvitse perustaa uutta liiketoimintaa vain oman osaamisensa ja resurssinsa varaan. Hän voi tilata eri osaamisalueiden asiantuntijoiden työpanosta henkilöhallinnosta. Hänen ei myöskään tarvitse rakentaa uutta liiketoimintaa yksin vaan hän voi tehdä sen, vaikka parhaan työkaverinsa kanssa. Eli kokonaisuudessaan haluamme tarjota asiantuntijalle mahdollisuuden perustaa oma startup-yritys Platomin sisälle, jolle on tarjolla kaikki tarvittavat palvelut uuden liiketoiminnan luomiseksi. Uskomme, että tarjoamalla asiantuntijoillemme tällaisen mahdollisuuden pystymme tuottamaan asiakkaillemme uusia parempia palveluja ja samalla luomme uusia työpaikkoja Suomen ydinenergia-alalle.

Startup-termiä käytetään tässä monen mielestä väärin ja vielä ydinvoiman yhteydessä. Termin yksi määritelmä on kuvata yritystä, joka pyrkii ratkaisemaan ongelmia ennen ko-keilemattomalla tavalla, ollen epävarma ratkaisun toimivuudesta. Tästä huolimatta olemme varmoja, että yrityksemme palveluihin voivat luottaa sekä nykyiset että tulevat asiakkaamme ja työntekijämme. 

simallinnuksesta Janne-Pekka Mäkinen sinnikkään suostuttelun ansiosta. UF_6 autoklaaviyhteistyö FNS:n kanssa päättyi ja tilalle tuli kokonaistoimitusvastuu isolle amerikkalaiselle UF_6 :n rikastajalle. Fukushima onnettomuus 2011 iski Platomiin erityisen voimakkaasti, koska valtaosan liikevaihdosta tuonut UF_6 autoklaavikauppa tyrehtyi tyystin Fukushima onnettomuuden jälkiseurauksena. Menetetyn liikevaihdon saaminen takaisin edellytti merkittäviä muutoksia totuttuihin toimintatapoihin ja lopulta koko yrityksen johtamisjärjestelmän uudelleenrakentamista.

Tätä nykyä Platom työllistää 45 työntekijää ja kasvu on viimeisen kahden vuoden ajan ollut voimakasta. Strategian keskiössä on ollut

toiminnan siirtäminen Mikkelistä lähemmäksi asiakkaita ja määrätietoinen pyrkimys kestävien, korkean jalostusarvon, kumppanuuksien rakentamiseen. Tämän strategian viimeisin virstanpylväs oli toimiston perustaminen Helsinkiin, Salmisaareen, pari kuukautta sitten. Salmisaaren toimistomme kirjoilla on tällä hetkellä kuusi työntekijää ja kun lukuun ynnätään myös kaikki matkatyötä Salmisaarella tekevät Platomilaiset, saadaan kokonaismääräksi 12. Helsingissä keskitytään erityisesti ydinvoimalaitoksen luvittamisen haasteisiin. Mikkelin ja Helsingin toimistojen lisäksi keskitymme erityisesti Rauman toimistomme kehittämiseen. Raumalla ja Olkiluodossa meillä on kymmenkunta Platomilaista ja haluamme

kehittää toimintaamme Olkiluodossa merkittävästi myös jatkossa.

Julkisen keskustelu on viimeinkin myöntänyt ydinvoimalle merkittävän roolin ilmamehän CO_2 -päästöjen hillitsemisessä. Ydinvoimaa rakennetaan nyt ja tulevaisuudessakin paljon lisää. Haluamme tukea omalta osaltamme ydinvoiman kannattavuutta Suomessa kehittymällä varte-notettavaksi kotimaiseksi vaihtoehdoksi turvallisuusluokiteltujen järjestelmien muutoshankkeissa. Tähän asemaan tulemme pääsemään laaja-alaisella ydinvoimaosaamisellamme sekä Suomen viranomaisvaatimusten erityistuntemuksella. Ydinvoiman avulla pelastamme ilmamehän. 

Safe and Economical LWRs through the European Utility Requirements

The European Utility Requirements (EUR) Organisation has diligently developed and promoted a set of technical requirements to harmonise the European market for new mid- and large-size Light Water Reactors (LWR). The latest specification set "Revision E" was published in December 2016.

Text: Tapani Raunio, Olli Kymäläinen, Juha Poikolainen & Guillaume Jacquart

ONE OF THE MAIN CHALLENGES related to possible new nuclear power in Europe and globally in the world, is the fact that the requirement base for a nuclear power plant varies significantly from country to country. This causes unnecessary redesign and reduces the learning effect that would be achieved if the same design would be built in different countries. The aim of European Utility Requirements (EUR) is to drive and promote harmonising and stabilising the conditions under which new LWR NPPs in Europe

should be designed, built, commissioned, operated and maintained.

EUR are a set of technical requirements for new nuclear power plants and they are developed by a group of European nuclear power producers. They offer state-of-the-art technical requirements, which cover the entire plant up to the grid interface. The EUR document emphasises those areas which are most important for the optimisation of the design with respect to safety, performance, constructability and economics. The EUR

document applies to both Pressurised Water Reactors (PWRs) and Boiling Water Reactors (BWR).

The EUR document

The EUR document is structured into four volumes. Volume 1 contains the main policies and objectives of the EUR document. Volume 2 contains generic and nuclear island requirements and includes more than 5 000 requirements. Volume 3 contains the application of



DI Tapani Raunio
Design Engineer
Fortum Power and Heat Oy
tapani.e.raunio@fortum.com



DI Olli Kymäläinen
Head of New Build and Upgrades Services
Fortum Power and Heat Oy
olli.kymalainen@fortum.com



DI Juha Poikolainen
Senior Manager
TVO
juha.poikolainen@tvo.fi

EUR to specific designs. Volume 4 contains more than 1 000 requirements for a power generation plant (turbine island).

The EUR document has been regularly updated in order to accommodate the evolution of the regulatory and industry background as well as to take into consideration the feedback of experience from design, licensing, construction and operation. The latest revision of EUR Volumes 2 and 4 (revision E) was published in December 2016, and was the culmination of three years of work. The safety chapter has been thoroughly updated to include lessons learned from Fukushima event. Other significant updates have been made among others to: I&C, seismic approach, probabilistic safety assessment, layout, and grid connection requirements. As another major development related to safety requirements, the safety requirements have been in some areas reformulated in order to ensure consistency with the latest IAEA safety standards as well as with WENRA position papers for new reactors. EUR revision E is the fifth published EUR document version.

Application of EUR

The EUR document is intended to be used by the utilities e.g. as a guide for design assessment or as a technical reference in a possible call for bids as well as by vendors as a technical design guide.

The main benefit for vendors and utilities comes through harmonisation of safety and

generic requirements of new LWRs to the extent possible. Although the exact regulations in countries still differ, EUR specifications offer a sizable set of common requirements.

EUR has been used as the basis in many of the recent new build activities in Europe and also outside of Europe. In Finland, EUR was the basis of the technical requirements of Olkiluoto 3 and has been used also in the later projects. For example, in the Olkiluoto 4 and Loviisa 3 projects, which were cancelled later, EUR formed the basis for the technical part of the bid specification document.

EUR Organisation is run by Utilities

In 1991 five major European electricity producers formed the EUR organisation with the goal of creating a common set of technical requirements to harmonise development, design and licensing of NPPs. Today, the EUR organisation consists of fourteen utilities with combined nuclear fleet of over 100 LWRs. The experience gained in construction, licensing and operating of these reactors has been utilised in the development of the EUR document.

From Finland, Fortum and TVO are members of the EUR since 1997.

The EUR organisation does not have own employees. All resources and expertise are provided by EUR members' companies. The strength of this approach is the vast pool of expertise covering practically all relevant topics needed for the technical requirements for new NPPs.

EUR Design Assessments

Besides developing and maintaining up-to-date EUR technical requirements, the other core activity of EUR organisation is to carry out design assessments of new NPP designs. The assessments are summarised in new subsets of Volume 3 "Application of EUR to specific designs". The main focus in the assessments is on the requirements in Volume 2 (generic and nuclear island requirements).

Assessing a NPP design against EUR specifications is joint effort of the vendor and EUR members. The actual assessment is done by the EUR members while the role of the vendor is to provide the necessary information and input documentation. Usually only part



EUR Volume 2: Generic and Nuclear Island Requirements

Ch 2.1	Safety requirements
Ch 2.2	Performance requirements
Ch 2.3	Grid requirements
Ch 2.4	Design basis
Ch 2.5	Codes and standards
Ch 2.6	Material – related requirements
Ch 2.7	Functional requirements: components
Ch 2.8	Functional requirements: systems & processes
Ch 2.9	Containment system
Ch 2.10	Instrumentation & Control and Human-Machine Interface
Ch 2.11	Layout
Ch 2.12	Design process and documentation
Ch 2.13	Constructability and commissioning
Ch 2.14	Operation, maintenance and procedures
Ch 2.15	Quality assurance
Ch 2.16	Decommissioning
Ch 2.17	PSA methodology
Ch 2.18	Performance assessment methodology
Ch 2.19	Cost assessment information requirements
Ch 2.20	Environmental impact

Structure of Volume 2 of the EUR document

of EUR members participate in each assessment process.

An EUR design assessment brings benefits for both the vendor and the participating utilities. The vendor gets its design reviewed against the state-of-art EUR technical requirements and confidence regarding suitability of the design for the European market. An EUR assessment gives the participating utilities an in-depth view of the vendor's design, including possibility of discussing design choices with vendor's experts.



Guillaume Jacquot

Chairman of European
Utility Requirement Organization
EDF
guillaume.jacquot@edf.fr

An EUR assessment is a major undertaking. The most intensive assessment phase takes usually about 1.5 to two years. In addition, also the preparations, initial discussions between the vendor and EUR and preliminary self-assessment of key requirements as well as final review and finalisation of the Volume 3 subset take significant time so that the overall time from the request by the vendor to completion of the assessment and so-called EUR certificate becomes several years.

At the time of writing, EUR assessment projects for both VVER-TOI design and HPR1000 are ongoing. Fortum is one of the participants in the assessment of HPR1000.

Communication with other Stakeholders

As an internationally recognised organisation, the EUR has an active communication plan in order to maintain a strong influence in the field of new nuclear projects. One of the main objectives of the communication plan is the promotion of the EUR document so that it remains an international reference used by both designers and utilities for their new build projects.

For training and dissemination purposes, the EUR also organises technical courses. The most recent one was a three-day course focusing on revision E, held in 2017 in Hungary.

EUR organisation actively works together also with other international organisations in order to promote harmonisation of NPP design and licensing requirements in Europe. Notable important partners are European Nuclear Installations Safety Standards Initiative (ENISS), and Cooperation in Reactor Design Evaluation and Licensing (CORDEL). The former was launched within FORATOM in 2005 and latter in 2007 under the auspices of World Nuclear Association. Together with ENISS EUR organisation aims to bring utilities' perspective to nuclear regulators (WENRA). CORDEL shares the same objectives of harmonisation and standardisation of licensing processes as EUR organisation.



Members of the EUR organisation

A strong connection of EUR organisation with IAEA is assured by having a EUR seat as “corresponding member” in some IAEA working groups such as NUSSC.

What about SMRs?

In the recent years there has been a growing interest in Small Modular Reactors (SMRs), which promise to drive down NPP costs with simplified design and serial production while reaping safety benefits from smaller reactor core and decay heat.

Currently there is a wide range of different SMR technologies in heavy development. It is too early to call which technologies may be proven successful, and what are their common characteristics.

The current roadmap for next few years includes also development of EUR position papers on SMRs as one of the focus areas.

Conclusions

The European Utility Requirements play an important role in promoting harmonisation of the technical requirements for new nuclear power plants and standardisation of the designs. The ultimate goal is to ensure that new NPPs can be economically designed, constructed and licensed while maintaining a very high level of safety.

EUR organisation will continue developing harmonised and standardised utility requirements, which are based on a solid design, licensing and operating experience throughout Europe and thereby contributing in keeping nuclear power as viable alternative for CO₂ free electricity production.

Mitä uutta tiedetään Fukushimaasta?

Tuomo Sevón
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Tämä artikkeli kertoo, mitä uutta on selvinnyt Fukushimaan onnettomuuden tutkimuksessa viimeisen viiden vuoden aikana. IAEA julkaisi onnettomuudesta raportin, jossa on uutta tietoa Fukushimaan todennäköisyysperusteisesta riskianalyysistä eli PRA:sta. Voimayhtiö TEPCO on läpivalaissut reaktoreita myoneilla ja tutkinut suojarakennuksia kameroilla. Kakkosyksikön suojarakennuksen lattialta löytyi kokonainen polttoainepinon yläpäätylevy ja nostokahva. VTT osallistui OECD:n kansainväliseen tutkimusprojektiin, jossa selvitettiin onnettomuuden kulkua laskentamallien avulla.

This article tells about new results of the Fukushima accident investigations during the last five years. IAEA published a report that contains new information about the probabilistic risk assessment of Fukushima. The power company TEPCO has examined the reactors with muon tomography and the containments with cameras. On the floor of the unit 2 containment, they found a whole fuel assembly upper tie plate and lifting handle. VTT participated in an international OECD research project, in which the accident progression was investigated with calculation models.

Three Mile Islandin ja Tšernobylin onnettomuuksien jälkeen kului 25 vuotta ilman yhtään ydinvoimalaonnettomuutta, ja edellinen sukupolvi ehti tutkia nämä onnettomuudet läpikotaisin. 11. maaliskuuta 2011 tsunami katkaisi sähköt Fukushimaa. Nyt on uuden sukupolven tehtävä selvittää tarkasti, mitä Fukushimaan onnettomuudessa tapahtui ja mitä siitä voidaan oppia, toisaalta turvallisuuden parantamista ja toisaalta laskentamenetelmien kehitystä varten.

Onnettomuuden todennäköisyys

Vuonna 2015 IAEA julkaisi raportin [1] Fukushimaan onnettomuudesta: 1 200 sivua 180 asiantuntijan kirjoittamaa tekstiä neutraalista näkökulmasta sujuvalla englannin kielellä ja täydennettynä ammattigraafikon piirtämällä kuvilla. Suurin osa IAEA:n raportin tiedoista on kootu aiemmin julkaistuista selvityksistä. Uuttakin tietoa raportista löytyy. Technical volume 2:n luvussa 2.3.3 kerrotaan Fukushimaan PRA:sta. Sellainen oli siis olemassa.

IAEA:n mukaan Fukushimaan PRA rajoittui laitoksen sisäisiin alkutapahtumiin. Siitä puuttuivat ulkoisten tapahtumien, kuten maanjäristysten, tsunamien ja tulvien todennäköisyydet. PRA:sta puuttuivat myös laitoksen sisäiset tulvat, vaikka tulvariski paljastui jo vuonna 1991.

Silloin Fukushimaan ykkösyksikön turbiinirakennuksessa merivesiputkesta vuotanut vesi valui huoneeseen, johon hätädieselgeneraattorit oli sijoitettu. Tapahtuma ei johtanut onnettomuuteen, eikä TEPCO analysoinut tulvariskejä tarkemmin. [1]

Fukushimaan PRA:ssa ykkösreaktorin sydänvauriotaajuudeksi oli laskettu $3,9 \cdot 10^{-8}$ /vuosi. Tämä on noin tuhat kertaa pienempi kuin vastaavien reaktorien sydänvauriotaajuudet muissa maissa. Tuloksen vertailu ulkomaisiin reaktoreihin olisi heti paljastanut, että PRA:n täytyy olla pahasti puutteellinen. IAEA:n selvityksen mukaan aliarvioitu onnettomuusriski johti ylimielisyyteen, eikä turvallisuusparannuksia siksi pidetty tarpeellisina. [1]

Vakavia onnettomuuksia on historiassa tapahtunut paljon useammin kuin PRA-analyyysien mukaan pitäisi. Ydinvoimaa on tähän mennessä käytetty 17 849 reaktorivuotta [2]. Vakava onnettomuus on tapahtunut viidellä siviilikäytössä olleella reaktorilla (Three Mile Island, Tšernobyl, ja kolme reaktoria Fukushimaa). Toteutunut sydänvauriotaajuus on siis ollut $2,8 \cdot 10^{-4}$ /vuosi, kun PRA-tulokset ovat yleensä paljon pienempiä, esimerkiksi Olkiluoto 1:llä $6,4 \cdot 10^{-6}$ /vuosi [3]. Mutta TMI:n ja Tšernobylin onnettomuuksien aikaan PRA-menetelmät olivat vasta kehitteillä, ja Fukushimaan PRA ei ollut kattava. Vakavaa onnettomuutta ei ole siis koskaan tapahtunut sellaisella reaktorilla, jolle on tehty kun-

nollinen PRA. Vaikuttaa siltä, että PRA:n tekeminen huolellisesti saat-
taa parantaa turvallisuutta. Toisaalta puutteellisen PRA:n perusteella
turvallisuusparannukset voidaan jättää tekemättä, koska ne eivät näytä
kustannustehokailta. IAEA:n johtopäätös onkin, että kattava PRA olisi
paljastanut Fukushimaa turvallisuuspuutteet [1].

TEPCOn tutkimukset voimalaitoksen vaurioista

Onnettomuusreaktorien sisälle ei ole saatu työnnettyä kameraa, mutta
niistä on otettu läpivalaisukuvia myonien avulla. Kuvien resoluutio on
niin heikko, että niiden tulkinta vaatii vähän mielikuvituksen käyttöä.
TEPCOn mielestä kuvista voidaan päätellä, että ykkösreaktorin sydän-
alueella ei ole enää ollenkaan polttoainetta ja kakkosella ja kolmosel-
la vain vähän. Paineastian pohjalla on kakkosreaktorin polttoaineesta
”suurin osa” ja kolmosreaktorilla ”osa”. Ykkösreaktorin pohja ei näy
kuvissa, koska muut rakenteet varjostavat liikaa. Suojarakennusten ala-
osat eivät näy myonikuvissa, koska ne ovat maanpinnan alapuolella. [4]

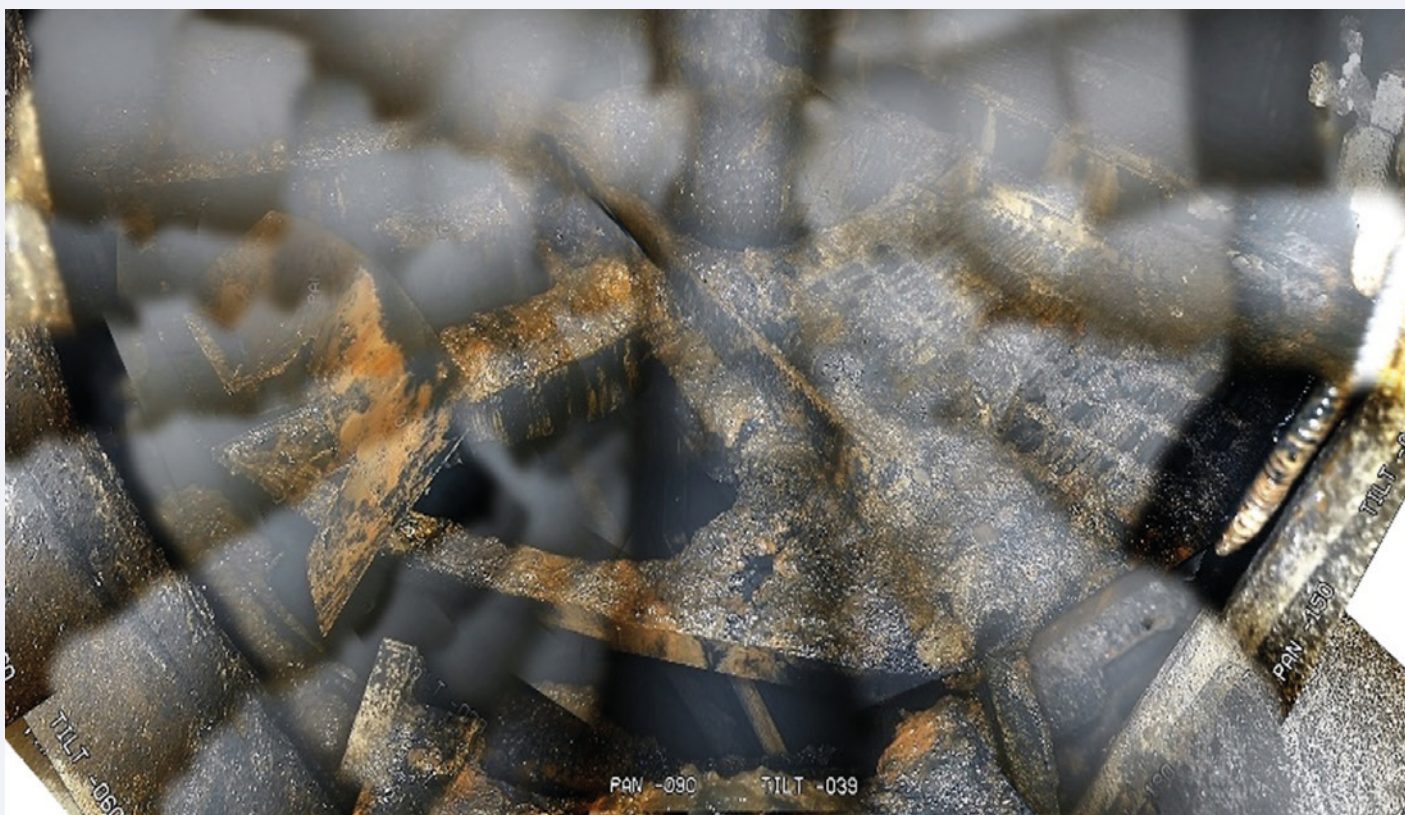
Suojarakennusten tilannetta TEPCO on tutkinut kameroilla, joi-
ta on ujutettu seinän läpi pienten läpivientien kautta (Kuva 1).
Ykkösyksiköllä suojarakennuksen reuna-alueen lattialta löytyi jonkin-
laista ”sedimenttiä”, mutta TEPCO ei ole saanut varmistettua, onko
se reaktorista valunut polttoainetta. Lattialla on pari metriä vettä.
Kameraa ei ole saatu reaktorikuiluun suojarakennuksen keskelle. [4]

Kakkosyksikön suojarakennuksesta on saatu parhaat kuvat, kos-
ka sen lattialla on vain 60 senttiä vettä. Osa reaktorin alapuolella
olevista, huoltotöihin tarkoitetuista ritilätasoista on romahtanut, ja ri-
tilöiden päälle on jähmettynyt tunnistamatonta ainetta (Kuva 2). [4]
Suojarakennuksen lattialla on soran näköistä romua. Yllättävin havainto
oli, että lattialta löytyi polttoainepun nostokahva sekä päätylevy, johon
polttoainesauvojen yläpäät kiinnittyvät (Kuva 3). [5] Reaktorin pohjassa
täytyy olla melko suuri reikä, jotta yli kymmenen senttimetrin kokoinen
osa voi pudota siitä kokonaisena.

Kolmosyksikön suojarakennuksessa on kaikkein eniten vettä, yli
kuusi metriä. Vedenalaisen kameran kuvat ovat hyvin epäselviä, mut-



Kuva 1. Toshibaa työntekijöitä kakkosyksikön reaktorirakennuksessa työntämässä kameraa suojarakennukseen seinän läpivientiputken kautta (kuva: TEPCO).



Kuva 2. Romahtaneita ritalatasoja ja niiden päälle jähmettynyttä ainetta kakkosyksikön suojarakennuksessa reaktorin alapuolella. TEPCO on koonnut kuvan yhdistämällä monta erillistä kuvaa.

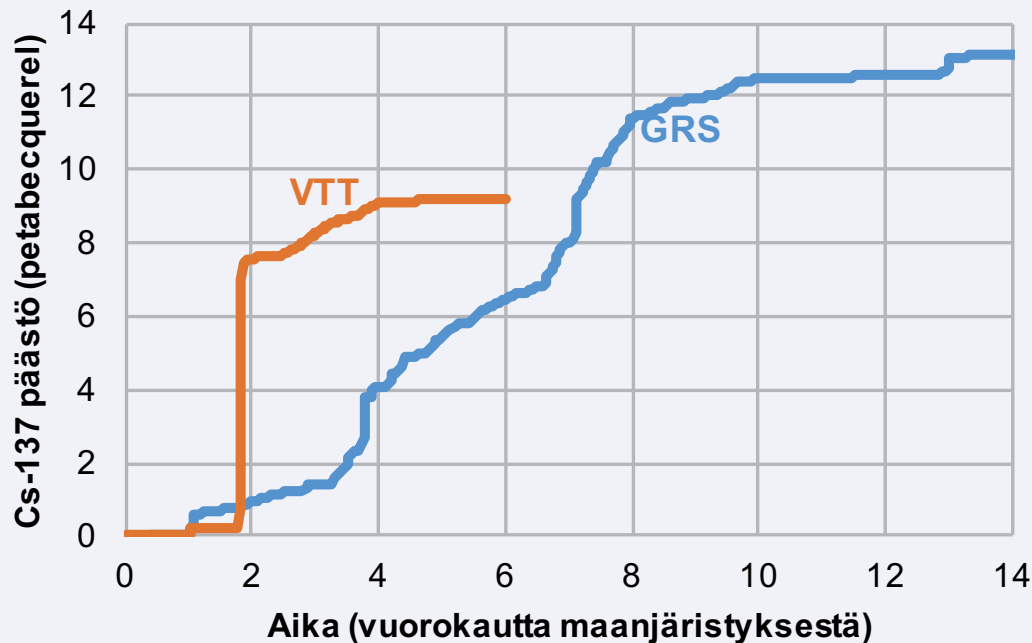
ta TEPCO on löytänyt niistä metalliosia, jotka näyttävät reaktorin sisältä pudonneilta säätösauvan ohjausputkilta. Lattialla on myös soran näköistä romua. [4]

Reaktoreihin pumpataan koko ajan jäähdytysvettä, joka valuu suojarakennuksiin. Silti vedenpinnan korkeus suojarakennuksissa ei nouse. Vesi siis vuotaa sieltä ulos reaktorirakennukseen. Ykkösyksiköltä TEPCO on löytänyt kaksi vesivuotoa. Toinen vuoto on suojarakennuksen kuivatilan alaosassa. Vuodon on mahdollisesti aiheuttanut reaktorista suojarakennuksen lattialle valunut kuuma sydänsula eli corium, joka on vahingoittanut seinän teräsvuorausta. Teräksen ja betonin väliseen rakoon pääsevä vesi valuu kuivatusputkea pitkin reaktorirakennukseen. Ykkösyksikön toinen vesivuoto löytyi tyhjiönpoistoventtiilistä (vacuum breaker), joka sijaitsee suojarakennuksen märkätilan ja kuivatilan välisessä putkessa. Kakkosyksiköltä vesivuodon paikkaa ei ole löytynyt, mutta TEPCO epäilee, että toruksen muotoisen märkätilan pohjassa on reikä, koska vedenpinta on samalla korkeudella sen sisä- ja ulkopuolella. Kolmosyksikön suojarakennuksen vuotopaikka on paljon ylempänä: vesi vuotaa päähöyrylinjan läpiviennin tiivisteen kautta. [4]

Säteilyn annosnopeus suojarakennusten sisällä riippuu vedenpinnan korkeudesta, koska vesi vaimentaa säteilyä. Kakkosyksikön suojarakennuksessa on vähiten vettä ja suurin annosnopeus, korkeimmillaan 70 Sv/h. Ykkösyksikön suojarakennuksessa korkein mitattu annosnopeus on 10 Sv/h ja kolmosella suuren vesimäärän ansiosta vain 1 Sv/h. Lämpötilat suojarakennuksissa ovat matalia, 20–35 °C. Paine ykkös-



Kuva 3. Kakkosyksikön suojarakennuksen lattialta löytyi romun keskeltä polttoainepin nostokahva ja yläpäätylevy (kuva: TEPCO).



Kuva 4. Oranssilla käyrällä VTT:n MELCOR-koodilla laskema cesium-137 päästö ilmakehään Fukushima kolmelta reaktorilta yhteensä. Sinisellä käyrällä saksalaisen GRS:n päästöarvio, joka on laskettu "käänteisellä" menetelmällä eli ympäristön säteilymittausten ja säätötilan perusteella [6]. Kolmosyksikön suuri päästö kahden vuorokauden kohdalla ei näy säteilymittauksissa, koska tuuli puhalsi päästön merelle. Molempia laskentamenetelmiä kehitetään vielä paremmiksi, eli nämä tulokset eivät ole lopullinen totuus.

kakkosreaktoreiden suojarakennuksissa on muutaman kilopascalin ilmakehän paineen yläpuolella, mutta kolmosreaktorin suojarakennus on ilmakehän paineessa. Suojarakennusten ulkopuolella reaktorirakennuksissa annosnopeus vaihtelee paikasta riippuen parista millisievertistä tunnissa lähes tuhanteen. [4]

VTT:n Fukushima-tutkimus

VTT osallistui OECD Nuclear Energy Agencyn kolmivuotiseen BSAF-2-tutkimusprojektiin (Benchmark Study of the Accident at Fukushima). Projektissa oli mukana 11 maata, ja siinä kehitettiin laskentamalleja, joilla onnettomuutta simuloidaan. Samoja laskentamenetelmiä VTT käyttää suomalaisten reaktorien vakavien onnettomuuksien mallintamiseen. Projektin kautta saimme Fukushima reaktoreiden ja suojarakennusten tarkat piirustukset mittatietoineen. Aiemmin olimme julkisten tietolähteiden varassa, mikä aiheutti suuria epävarmuuksia laskentamalleihimme.

Fukushiman tarkkojen piirustusten saaminen vaati pitkällisen prosessin. Ensimmäinen tarvittiin Yhdysvaltain energiaministeriön DOE:n suositusta, että Japani saa luovuttaa japanilaisen ydinvoimalan piirustuksia Suomeen. Vaatimus johtui ilmeisesti siitä, että Fukushima reaktorit on suunniteltu Yhdysvalloissa. Sen jälkeen Japanin ulkoministeriö lähetti Suomen ulkoministeriölle nootin, jossa vaadittiin, että Suomi ei käytä Fukushima reaktoreiden ydinasen kehittämiseen. Reaktorin piirustuksilla ei tietysti voi kehittää ydinasetta, joten Suomen oli helppo sitoutua tähän vaatimukseen. Mutta noottien takia aineis-

tosta tuli ydinenergiain mukaisen alkuperämaaraajituksen alaista, joten VTT:n piti hakea sille STUKilta maahantuonti- ja hallussapitolupa. VTT haki pysyvää hallussapitolupaa, mutta STUK myönsi luvan vain kymmeneksi vuodeksi ja peri lupahakemuksen käsittelystä 780 euron maksun.

Kaksi vuotta kestäneen prosessin jälkeen sain Fukushima reaktoreiden piirustukset Japanista postipaketina. Byrokratia työllistää minua edelleen, koska joudun pitämään kirjaa siitä, mitkä tiedot ovat julkisia, mitkä tiedot vaativat hallussapitoluvan ja mitkä ovat muuten vain luottamuksellisia. Tutkimusraporteista kirjoitan kaksi versiota, joista toista voidaan jakaa VTT:n ulkopuolelle, koska siitä on poistettu hallussapitolupaa vaativat tiedot. Ja vuonna 2025 täytyy muistaa hakea STUKilta jatkoa määräajalle hallussapitoluvalle, koska Fukushima reaktoreiden onnettomuutta tutkitaan vielä pitkään sen jälkeen.

Mitä BSAF-2-projektista on sitten opittu? Tietysti VTT:n osaaminen onnettomuuksien mallintamisessa on parantunut. Mutta enemmän on herännyt uusia kysymyksiä, kun on huomattu, mitä ilmiöitä ei vielä osata mallintaa kunnolla. Vieläkään ei olla varmoja, kuumeneeko uraanidioksidi onnettomuudessa sulamislämpötilaan, vai pysyykö polttoaine kiinteässä olomuodossa sulan teräksen ja zirkoniumin seassa. Kiehumisvesireaktoreissa säätösauvat työnnetään sydämeen alakautta, ja onnettomuuden aikana sydäimestä alaspäin valuva materiaali pääsee kosketuksiin säätösauvojen suojausputkien, niiden läpivientien ja säätösauvakoneiston kanssa. Näistä vuorovaikutuksista odotetaan lisää tietoa, kunhan TEPCO onnistuu saamaan valokuvia reaktoreista.

Lähes kaikki BSAF-2-projektin osallistajat laskivat omilla malleillaan, että ykkösreaktorista suojarakennukseen valunut kuuma materiaali olisi sulattanut reaktorikuilun 1,2 metrin paksuisen betoniseinän puhki. TEPCOn ottamista valokuvista kuitenkin nähdään, että näin ei ole käynyt. Laskentamalleissa on siis jotakin pielessä. Mahdollisesti olemme yliarvioineet suojarakennuksen lattialle päätyneen polttoaineen määrän tai lämmönsiirron siitä betoniin.

Kiehutussyke-reaktorin suojarakennuksessa on lauhdutusallas, johon onnettomuustilanteessa puhalletaan höyryä. Höyryn lauhtuminen vedessä alentaa suojarakennuksen painetta. Samalla höyryn seassa olevat fissiotuotteet jäävät veteen. Todennäköisesti altaan pohjalla oleva vesi pysyy kylmempänä, vaikka veden pinta lähestyy kiehumispistettä. Altaan lämpötilakerrostuminen vaikuttaa huomattavasti suojarakennuksen paineeseen ja fissiotuotteiden pidättymiseen veteen, mutta ilmiön mallintaminen on hankalaa. BSAF-2-projektin osallistajat jakoivat altaan laskentanoodeihin eri tavoilla ja saivat erilaisia laskentatuloksia. Vesialtaan kerrostumisesta on tehty kokeita vain pienikokoisilla altaila, joten on vaikea tietää, mikä olisi paras tapa toruksen muotoisen, halkaisijaltaan kymmenien metrien kokoisen altaan mallintamiseen. Oman mausteensa analyysiin tuo se, että Fukushima kakkosyksiköllä tsunamin vesi tulvi reaktorirakennuksen kellariin, jossa se jäähdytti teräksestä tehtyä lauhdutusallasta ulkopuolelta ja siten hidasti suojarakennuksen paineen nousua.

Suojarakennuksen rikkoutuminen ylipaineesta vaikuttaa ratkaisevasti onnettomuuden päästöihin. Fukushima kolme yksikköä

käyttäytyivät tässä eri tavoin. Ykkösyksiköllä paineen nousu pysähtyi vähän yli seitsemään bariin, koska suojarakennus alkoi vuotaa niin paljon, että höyryä pääsi ulos samaa tahtia kuin sitä syntyi. Paine pysyi tällä tasolla 12 tuntia, minkä jälkeen työntekijät avasivat suojarakennuksen ulospuhallusventtiilin. Kakkosyksiköllä paineen nousu pysähtyi samalle reilun seitsemän bariin tasolle, mutta vajaat neljä vuorokautta maanjäristyksen jälkeen suojarakennus hajosi ja paine romahti nopeasti. Vielä ei tiedetä, mistä suojarakennus hajosi eli mikä oli sen heikoin kohta. Kolmosyksiköllä paineen nousu liian korkealle estettiin suojarakennuksen ulospuhallusjärjestelmällä. Se kuitenkin aiheutti suuren cesium-päästön, koska järjestelmässä ei ollut suodattimia.

Kun verrataan eri tutkimuslaitosten BSAF-2 projektissa laskemia cesium-päästöjä, niin suurin laskentatuloksena on noin sata kertaa suurempi kuin pienin tulos. Tätä ei voi pitää kovin hyvänä tarkkuutena. Fukushima onnettomuuden mallintamista vaikeuttaa sen pitkä kesto. Ympäristömittausten perusteella cesiumia pääsi ilmaan vielä 13 päivää maanjäristyksen jälkeen [6]. VTT:n laskentamallien [7] mukaan päästöt loppuivat viidessä päivässä, koska siihen mennessä kaikki cesium oli deponoitunut vesialtisiin ja rakennusten lattioille (Kuva 4).

OECD BSAF-2 -projekti päättyi vuonna 2018. VTT osallistuu myös vuonna 2019 käynnistyvään kolmivuotiseen jatkoprojektiin, jonka nimi on ARC-F (Analysis of information from reactor buildings and containment vessels of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station).

Viitteet

- [1] International Atomic Energy Agency. The Fukushima Daiichi Accident. 2015. 1254 s. STI/PUB/1710. <https://www-pub.iaea.org/books/iaea-books/10962/the-fukushima-daiichi-accident>
- [2] International Atomic Energy Agency. Power Reactor Information System. [viitattu 19.12.2018]. <https://pris.iaea.org/pris/>
- [3] Kainulainen, E. (toim.) Ydinenergian käytön turvallisuusvalvonta. Vuosiraportti 2017. Säteilyturvakeskus, 2018. 92 s. STUK-B 223.
- [4] Tokyo Electric Power Company Holdings. Evaluation of the situation of cores and containment vessels of Fukushima Daiichi nuclear power station unit-1 to 3 and examination into unsolved issues in the accident progression. Progress Report No. 5. (Attachment 4.) 2017.
- [5] Tokyo Electric Power Company Holdings. Fukushima Daiichi nuclear power station unit 2 primary containment vessel internal investigation. 2018.
- [6] Sonnenkalb, M. & Band, S. & Richter, C. & Sogalla, M. Unfallablauf- und Quelltermalysen zu den Ereignissen in Fukushima im Rahmen des OECD/NEA BSAF-Projektes Phase II. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, 2018. 235 s. GRS-485.
- [7] Sevón, T. Modeling of the Fukushima accident with MELCOR. 8th European Review Meeting on Severe Accident Research (ERMSAR), Varsova, Puola, 16.–18.5.2017.

Kirjoittaja



DI Tuomo Sevón

Erikoistutkija

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

tuomo.sevon@vtt.fi

IPCC:n erikoisraportti 1,5 °C:n lämpenemisestä ja ydinvoima

Sanna Syri

Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden koulu

IPCC julkaisi lokakuussa erikoisraportin 1,5 asteen lämpenemistavoitteesta, miten siihen päästäisiin ja mitä vaikutukset olisivat. Maapallon lämpenemisen rajaaminen näin tiukkaan tavoitteeseen on äärimmäisen haastavaa suhteessa viime vuosikymmenien päinvastaiseen päästökehitykseen, ja tavoitteeseen pääseminen edellyttää kaikkien vähäpäästöisten teknologioiden laajaa ja nopeaa lisäämistä. Tässä artikkelissa esitellään lyhyesti raportin tuloksia päästövähennysten ja eri teknologioiden roolien osalta.

The IPCC published last October its Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways. Limiting the global warming to this stringent target is extremely challenging in relation to the opposite development that has taken place during the past decades, and reaching the target requires rapid and broad increase of all low-emission technologies. This article introduces briefly the results on emission reductions and on the role of various technologies.

Globaalit hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet voimakkaasti viime vuosikymmeninä. UNFCCC:n Pariisin ilmastokokouksen loppupäätelmissä muotoiltiin yleiseksi tavoitteeksi pyrkiä rajaamaan maapallon lämpeneminen 1,5 celsiusasteeseen. Jo lämpenemisen rajaamista kahteen asteeseen on pidetty erittäin haastavana, ja tietoa näistä skenaarioista on tarvittu lisää. IPCC:n 1,5 °C -erikoisraportti vastaa tähän tiedontarpeeseen [1].

Tarvittava päästökehitys

IPCC:n raportissa tarvittavia päästövähennyksiä ja eri teknologioiden roolia arvioidaan neljän erilaisen globaalin tulevaisuuden pääskenaarion (P1-P4) avulla. Niissä oletetaan erilaisia kehityskulkuja väestönkasvulle, eri teknologioiden sallittavuudelle ja kehittymiselle, maailmantalouden energiantensiteetille ja energiankäytön tehostumiselle, elintason kehitykselle, kansainvälisen yhteistyön kehitykselle ja muille tulevaisuuden päästökehitykseen vaikuttaville tekijöille.

Osassa skenaarioita teknologisia rajoitteita oli hiilen ilmakehstä poistamisen tekniikoille (CDR, carbon direct removal) ja hiilidioksidin talteenotolle (CCS, carbon dioxide capture and storage). CDR-tekniikoita on monenlaisia, lähimpänä toteutumista ehkä hiilen sitominen maaperään tai metsitys, ja myöhemmin ehkä biomassan käyttö voimalaitoksessa CCS:n kanssa, jolloin tuloksena olisi parhaimmillaan negatiivinen nettopäästö.

Kuvassa 1 on esitetty, miten hiilidioksidin globaalit päästöt kehittyisivät tilanteessa, jossa globaali lämpeneminen rajataan 1,5 asteeseen. Raportin taustana on lukuisia malliajoja yllä kuvatuilla eri yleisskenaarioilla. Termiä "Overshoot" käytetään kuvaamaan tilannetta, jossa lähi-

vuosikymmeninä päästöt kehittyvät tavoitetta paljon huonommin, mutta vuosisadan loppupuolella globaalit nettopäästöt olisivat niin paljon negatiivisia, että tavoitteeseen päästäisiin.

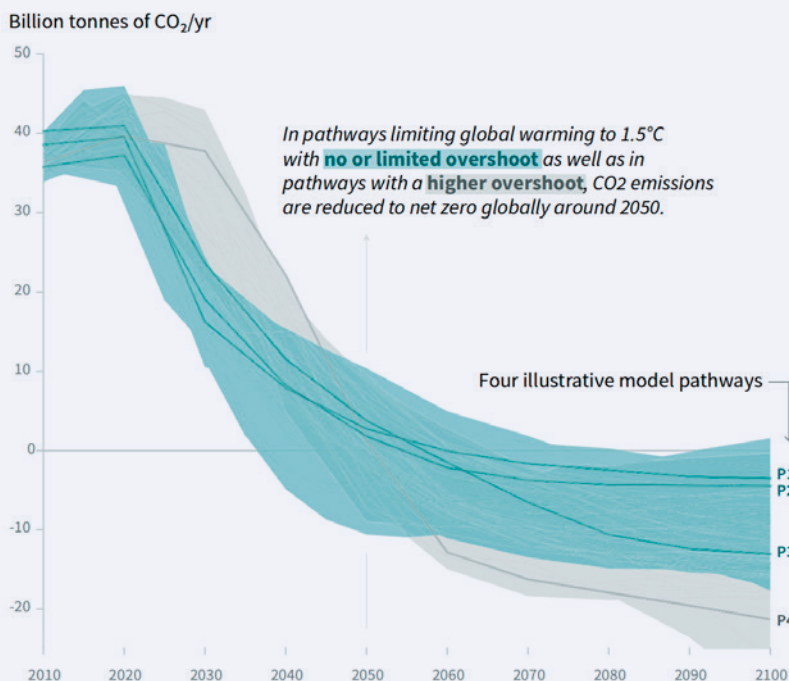
Ydinvoiman ja muiden teknologioiden rooli globaalisti

IPCC:n yhteenvedossa poliitikoille esitetään myös havainnollinen yhteenvedotaulukko [1, s. 19] siitä, miten paljon eri vähäpäästöisten teknologioiden määrä kasvaisi skenaarioissa ("Illustrative model pathways"). Globaalissa energian loppukäytössä on suurta hajontaa skenaarioiden välillä, sillä ne haarukoivat laajasti mahdollisia eri kehityskulkuja.

Vuoteen 2050 mennessä energian loppukäytön arviot ovat -32 % ...+44 % vuoden 2010 tasosta. Sen sijaan fossiilisten polttoaineiden käytön suhteen skenaariot ovat varsin yksituumaisia: hiilen käytön on vähennettävä globaalisti 73...97 % vuoden 2010 tasosta vuoteen 2050 mennessä ja öljyn käytön 32...87 %. Maakaasun käyttö kasvaisi joissakin skenaarioissa, mutta useimmissa sekin vähenisi 50...74 % vuoden 2010 tasosta vuoteen 2050 mennessä.

Kaikissa skenaarioissa ydinvoiman määrä kasvaisi 59...106 % vuodesta 2010 jo vuoteen 2030 mennessä, ja 100...500 % vuoteen 2050 mennessä (vuodesta 2010). Uusiutuvan sähköntuotannon määrä kasvaisi voimakkaasti ja se olisi 63...81 % kaikesta sähköntuotannosta vuoteen 2050 mennessä. Primäärienergia muista uusiutuvista energialähteistä kuin biomassasta kasvaisi 8...13-kertaiseksi vuoteen 2050 mennessä vuodesta 2010.

Biomassan käytön lisäys vaihtelee suuresti eri skenaarioiden välillä, pienestä vähenemästä nelinkertaistumiseen. Hiilidioksidin talteenotto tulisi merkittäväksi teknologiaksi niissä skenaarioissa, joissa se sallitaan:

Global total net CO₂ emissions

kumulatiivinen talteen otettu hiilidioksidin määrä olisi 350–1200 GtonCO₂ vuoteen 2100 mennessä. Globaalit vuosipäästöt ovat tällä hetkellä noin 40 GtonCO₂.

Raportin ja yllä kuvattujen yhteenvetoskenaarioiden taustalla on monien eri mallinnusryhmien tekemät laajemmat skenaariojoukot. Osassa näitä on myös mallinnettu tilanteita, joissa ydinvoiman rooli olisi pienempi johtuen sosiaalisen hyväksyttävyyden puutteesta. Samoin hiilidioksidin talteenottoteknologian CCS:n suhteen osa skenaarioista olettaa, että se ei olisi käytettävissä.

Mitä tästä pitäisi ajatella?

Pääviesti IPCC:n raportista lienee se, että maapallon lämpenemisellä on aiemmin tiedettyäkin vakavampia vaikutuksia, ja siksi tulisi kaikin keinoin pyrkiä mahdollisimman tiukoihin päästörajoituksiin. Omasta mielestäni skenaariot kuvaavat hyvin sitä, että emme tiedä tarkkaan tulevaisuuden kehitystä eri teknologioiden ja innovaatioiden suhteen, emmekä myöskään tulevaisuuden talouden rakenteita tai maailman väestön elintasoa ja kulutusmieltymyksiä. Skenaarioiden yleisviesti on kuitenkin selkeä: fossiilista polttoaineista ilman hiilidioksidin talteenottoa on päästävä eroon.

Raportissa esitetty hyvin monipuolinen ja laaja skenaarioanalyysi indikoi selkeästi, että on järkevää panostaa laajasti eri teknologioiden kehittämiseen ja käyttöönottoon kaikilla sektoreilla. Raportti käsittelee myös ohjauskeinoja ja toteaa, että tehokkaimmat politiikkatoimet saavutetaan tähänastisten analyysien perusteella yhdistämällä standardeja ja määräyksiä (energiatehokkuusstandardit, kiello uusille hiilivoimaloille jne.) sekä käyttämällä markkinahintaa tai veroa hiilidioksidille.

Voidaanko sitten lipsua tavoitteista lyhyellä aikavälillä, luottaa teknologian kehitykseen ja samalla jättää tuleville sukupolville entistäkin suurempi urakka? Tämä on eettinen kysymys, johon itse vastaisin, että emme mitenkään voi vaan toimeen on ryhdyttävä heti.

Tämänhetkinen vaikea maailmanpolitiikan tilanne heijastuu myös suurina vaikeuksina saada riittävä kansainvälistä tahotilaa päästöjen tehokkaalle vähentämiselle. Tällöin sysäämme ongelmiamme entistäkin pahempina tuleville sukupolville. Erikoisraportti painottaa, että viivytely tehokkaammissa päästövähennyksissä vuoteen 2030 asti vaikeuttaa merkittävästi ja voi jopa estää tavoitteen saavuttamisen. Raportissa esitellyt tulokset näyttävät myös, että päästövähennysten kokonaiskustannukset koko tämän vuosisadan ajalta kasvavat, mitä enemmän nyt lyhyellä tähtäimellä viivytellään päästövähennysten toteuttamisessa.

Kuva 1. IPCC:n kaavio hiilidioksidin globaalien päästöjen kehitymisestä tällä vuosisadalla skenaarioissa, joissa 1,5 asteen tavoitteeseen päästään. "Overshoot"-skenaarioissa (harmaa alue) vuosisadan alkupuoliskolla jäädytään jälleen tavoitteen, mutta se kompensoituisi vuosisadan loppupuolen voimakkaammin negatiivisilla päästöillä. [1]

Viitteet

- [1] IPCC:n 1,5 °C erikoisraportti. <https://www.ipcc.ch/sr15/> [Sanna Syri oli erikoisraportin asiantuntija-arvioija sen luonnosvaiheessa.]

Kirjoittaja



TkT Sanna Syri

Professori, energiatekniikka ja energiatalous
Aalto-yliopisto
sanna.syri@aalto.fi

Palautusosoite:

Suomen Atomiteknillinen Seura
PL 78
02151 ESPOO



KANNATUSJÄSENET

A-Insinöörit Civil Oy

**Pohjoismainen
Ydinvaruutuspooli**

TVO Nuclear Services Oy

Fennovoima Oy

Pohjolan Voima Oy

Voimaosakeyhtiö SF Oy

FinNuclear ry

Posiva Oy

Wärtsilä Projects Oy

**Fortum Power
and Heat Oy**

**Teknologian
tutkimuskeskus VTT Oy**

Westinghouse

Platom Oy

Teollisuuden Voima Oy