

# ATS

3|2020

Vol. 49

## YDINTEKNIikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

### Loviisan jatkovaihtoehdot selvitetään

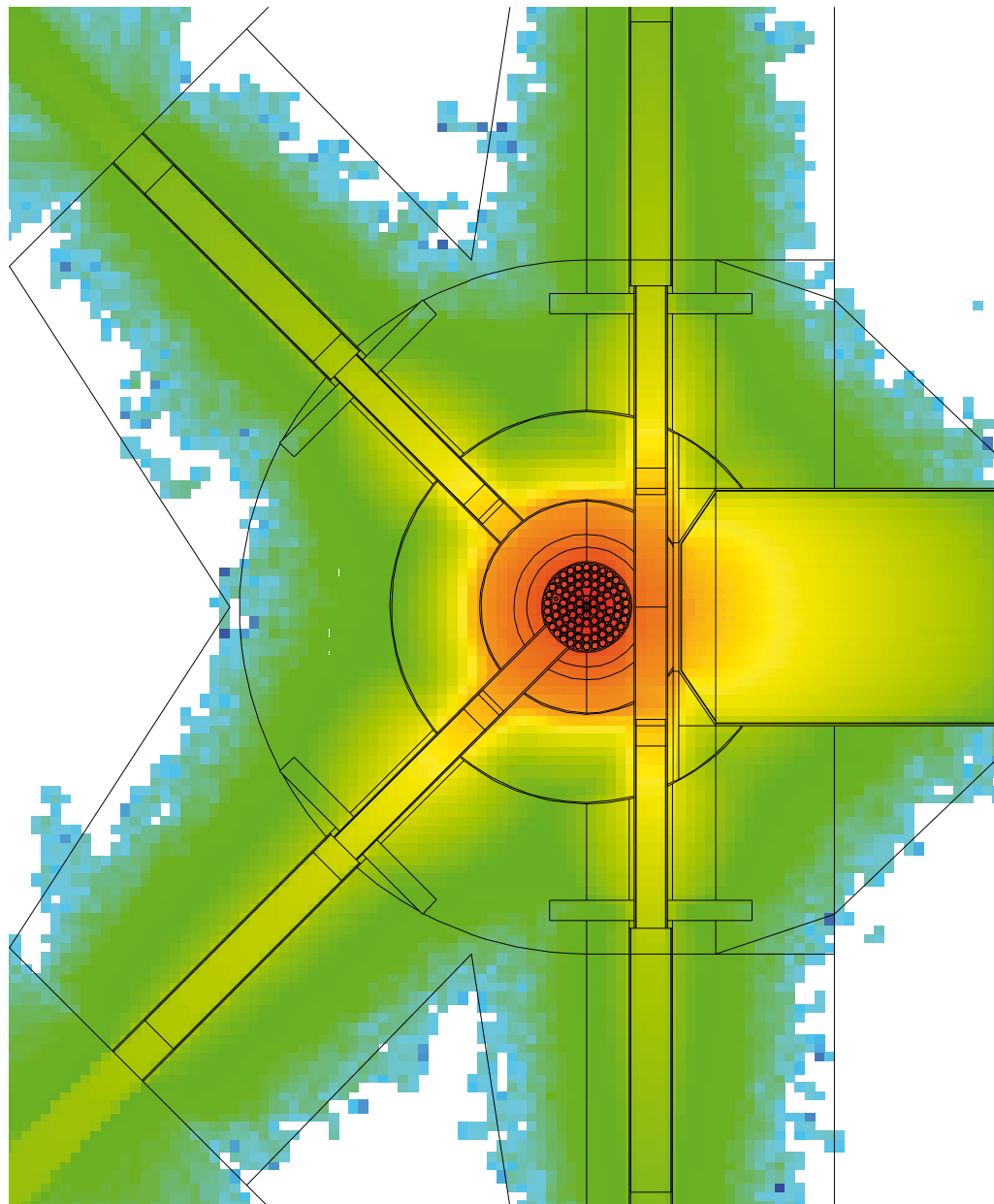
Fortum käynnisti Loviisan voimalaitoksen eri tulevaisuusskenaariot selvittävän YVA-menettelyn elokuussa.

### FiR 1:n aktiivisuus-kartoitus tehty

Otaniemen tutkimusreaktorin aktiiviset rakenteet kartoitettiin mallintamisella ja mittauksilla Antti Rädyn väitöstyössä.

### IYNC2020 Sydneyssä

Ydinalan nuori sukupolvi kokoontui keväällä laaja-alaiseen teknis-tieteelliseen kokoukseen Australian Sydneyssä.



## 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

TkT Jaakko Leppänen  
jaakko.leppanen@vtt.fi

#### Sihteeri / Secretary General

DI Lauri Rintala  
sihteeri@ats-fns.fi

#### Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Pekka Kupiainen  
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

#### Jäsenet / Board Members

MSc Ana Jambrina  
ana.jambrina@lut.fi

FM Maria Lindholm  
maria.lindholm@fortum.com

DI Simo Saarinen  
simo.saarinen@iki.fi

TkT Vesa Tanskanen  
vesa.tanskanen@stressfield.fi

### Toimihenkilöt / Functionaries

#### ATS Young Generation

DI Hanna Tynys  
hanna.tynys@fortum.com

#### Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

DI Henri Ormus  
henri.ormus@fennovoima.fi

#### Women in Nuclear Finland

FT Eveliina Muuri  
eveliina.muuri@posiva.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

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

#### Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

TkT Henri Loukusa  
henri.loukusa@gmail.com

#### Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

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

#### Ulkoasu ja taitto / Layout

Katariina Korhonen  
Suunnittelutoimisto Creatus  
katariina@creatus.fi

#### Toimitus / Editorial Staff

DI Klaus Kilpi  
klaus.kilpi@gmail.com

DI Anna Korpinen  
anna.korpinen@vtt.fi

FM Sophie Haapalehto  
sophie.haapalehto@posiva.fi

FT Mervi Söderlund  
mervi.soderlund@fennovoima.fi

### Toimituksen yhteystiedot

#### ATS Ydintekniikka

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

#### Painopaikka

Hämeen Kirjapaino Oy, Espoo

ISSN-0356-0473

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

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

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

# Aika-akselin näkymiä suuntaan sekä toiseen



”Ennustaminen on vaikeata, varsinkin tulevaisuuden ennustaminen.” Tätä lentävää lausetta ovat käyttäneet niin monet merkkihenkilöt, että sen alkuperä on jäänyt epäselväksi. Yksi ensimmäisistä käyttäjistä on ollut tanskalainen fyysikko Niels Bohr, Nobelin-palkinnon saaja ja Bohrin atomimallin isä. Sanonta pätee niin kvanttimekaniikassa kuin makromaailmassakin.

Tämän vuoden poikkeukselliset tapahtumat ovat yllättäneet useimmat meistä. Toki löytyy sekä tieteellisiä riskiarvioita että kaunokirjallisia teoksia, joissa esiintyy tämänhetkisen pandemian kaltaisia skenaarioita. Lisäksi historiallisten kulkutautien kuten mustan surman ja espanjantaudin sekä vähän tuoreempien tapausten kuten SARSin ja MERSin valossa oli vain ajan kysymys, milloin laaja pandemia iskee ja lamauttaa ihmiskunnan toiminnot. Enpä silti usko, että kovin moni osasi ennus-

taa toteutumista vuodelle 2020 eikä ainakaan mittakaavaa.

Historiaan katselu on helpompaa kuin tulevaisuuteen. Toisaalta historian tutkimiseen liittyy aina tulkinta, ja kun tulkintaa väistämättä tehdään oman elinajan ja -ympäristön viitekehystä, niin tulkinat vaihtelevat. Tämä johtaa siihen, että näkymät menneisyyteenkin vaihtelevat. Yhden näkymän ydintekniikan historiaan tarjoaa Rosatomin tuore 75-vuotisjuhlajulkaisu, joka löytyy osoitteesta <https://atom75.com>.

ATS Ydintekniikan teossa ennustaminen on myös osoittautunut vaikeaksi. Numeroon 1/2020 toimitus sai vähän nihkeästi artikkeleita, kun taas numeroon 2/2020 saimme lähes kaikki pyytämämme jutut, ja olimme oikeastaan tyytyväisiä, että pari juttua lykkääntyi myöhempisiin numeroihin. Tämän numeron osalta tilanne oli jälleen nihkeä, eli toimituksen kaavailmista jutuista suurin osa jäi saamatta.

Perinteinen korjausliike oli julkaisun viivästäminen ja korvaavien juttujen hankinta.

Lehden seuraavaan numeroon on luvassa melkoinen nippu juttuja, mutta ennuste on epävarma, kuinkas muuten. On siis paikallaan toistaa vetoomukseni kaikille ATS:n jäsenille: jos haluatte lukea jäsenlehdestä itseänne kiinnostavaa asiaa, tarjotkaa juttuideaa tai kirjoitamaanne juttua toimitukselle. Julkaisemme artikkeleita, jotka liittyvät jollain tavalla ydinenergiaan tai -tekniikkaan ja valottavat alan historiaa, nykypäivää tai tulevaisuutta.

**Jarmo Ala-Heikkilä**

Vastaava päätoimittaja

## SISÄLTÖ

### Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Aika-akselin näkymiä suuntaan sekä toiseen .....	3
Pääkirjoitus: Kakkua tarjolla! .....	4
Editorial: Let's have some cake! .....	5
Pakina: Viimeinen sammuttaa valot .....	26

### Tapahtumat

International Youth Nuclear Congress 2020 .....	6
--	---

### Ajankohtaista

Loviisan voimalaitoksen tulevaisuutta käsittely YVA-menettely alkoi .....	8
Rikkoutuvista polttoainesauvoista .....	11

### Tiede ja tekniikka

Koneäly parantaa tarkastusten luotettavuutta ja tehokkuutta .....	14
<i>Ilkka Virkkunen, Oskar Siljama, Topias Tyystjärvi</i>	
Development of a separative micro- system for radionuclide analysis in nitric acid media on organic monolith .....	18
<i>Marion Losno</i>	
Väitös: Activity Characterization Studies in the FiR 1 TRIGA Research Reactor Decommissioning Project .....	22
<i>Antti Rätty</i>	

# Kakkua tarjolla!

**TÄNÄ PÄIVÄNÄ ON MAHDOTONTA** olla törmäämättä ilmastonmuutoskeskusteluihin, oli sitten millä foorumilla tahansa. Vaikka keskustelut ovat usein täynnä uhkia, on ydinvoima-alalla kuitenkin onnistuttu kääntämään ne mahdollisuuksiksi. Monet alan toimijat kertovatkin avoimesti olevansa päästöttömän tulevaisuuden asialla, ja positiivinen suhtautuminen on heijastunut myös ei-ydinvoimauskovaisten ajatteluun. Alalle saadaan siten varmasti uusia osajia ja yrityksiä tulevaisuudessakin. Muutos ilmapiirissä on ollut omakohtaisesti käsin kosketeltavaa, sillä vielä reilut 10 vuotta sitten minut jätettiin ravintolassa tanssilattialle kesken tangon, kun kerroin työskenteleväni ydinvoima-alalla. Nyt voin jo keskustella ydinvoimasta hieman vapautuneemmin ilman pelkoa hyljätyn tulemisesta.

Me FinNuclearilla seuraamme aktiivisesti ydinvoima-alaa ja olemme myös havainneet ydinvoiman merkityksen korostumisen. Tällä hetkellä noin 50 uutta laitosta on rakenteilla 15 eri maassa, ja useita satoja laitoksia on tilattu, suunnitteilla tai ehdotettu eri maiden energiaohjelmissa. Käynnissä olevat reilut 400 ydinvoimalaa tuottavat 10 % koko maailman sähköntuotannosta ja neljänneksen EU:n sähköntuotannosta. Jotta tilanne säilyisi näin hyvänä, ala tarvitsee myös jatkuvaa parantamista käytössä olevien laitosten modernisointien ja käyttöikien pidentämisen saralla.

Myös elinkaaren loppupään toimia, käytöstäpoistoa ja jätehuoltoa, on tehtävä vastuullisesti. Moni laitos sekä tutkimusreaktori on tullut tai tulossa käyttöikänsä päähän, ja ydinvoimahankkeiden etenemisen sekä hyväksyttävyyden takia on tärkeää, että ydinjätehuoltoon liittyvät suunnitelmat tehdään

ja toteutetaan. Lisäksi tarvitaan uusia tapoja tuottaa energiaa; pieniä modulaarisia reaktoreita (SMR) kehitetäänkin useassa maassa tähtäimenä teknologian kaupallinen hyödyntäminen lähivuosina.

Edellä kuvatusta laajasta repertuaarista voi päätellä, että koko ydinenergian käytön elinkaareen liittyy laajoja kokonaisuuksia ja paljon tekemistä pitkiksi ajoiksi. Niissä on töitä eri osaajille, kuten Antti Lammela toteaa ATS Ydintekniikan 4/2019 pääkirjoituksessa, mutta ennen kaikkea myös runsaasti liiketoimintamahdollisuuksia eri toimijoille. Meidän suomalaisten kannalta tilanne ei voisi olla kutkuttavampi, sillä Suomea pidetään kansainvälisesti edelläkävijänä monella ydinvoiman osa-alueella: meillä on uusia ydinvoimahankkeita, käynnissä olevien voimalaitosyksiköiden käyttökertoimet ovat erittäin korkeat ja niiden käyttöluopua on jatkettu, ja Otaniemen tutkimusreaktorin käytöstäpoistohanke etenee.

Ydinvoiman käytön aikana syntyneiden matala- ja keskiaktiivisten jätteiden käsittelyssä on tehty vastuullista työtä, ja Suomi on tällä hetkellä edistynein toimija käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksessa. Myös SMR:ien osalta tehdään töitä niin T&K-hankkeiden kuin lainsäädännönkin osalta, kuten ATS Ydintekniikan aiemmista numeroista on voitu lukea.

Vuosikymmenien aikana Suomeen on syntynyt huippuosaamista ydinvoimayhtiöihin, toimittajaverkostoihin sekä tutkimusorganisaatioihin. Lisäksi Suomen säteilyturvallisuusviranomainen on kansainvälisesti arvostettu toimija. Suomalaisille ydinvoima-asiantunijoille on siis kysyntää, mutta haasteena on, että osaaminen on pirstaloituneena eri yrityksiin ja sitä ei ole paketoitu riittävän selkeiksi



kokonaisuuksiksi ja verkostoiksi, jotka mahdollistaisivat laajemmat tarjoomat kansainväliisiin hankkeisiin.

FinNuclear haluaakin kantaa kortensa kekoon ja auttaa tulevissa hankkeissaan eri toimijoita löytämään yhdessä uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Tämä on luonnollinen jatkumo kohta 10 vuotta kestäneelle taivallemme, jonka aikana olemme onnistuneet edistämään jäsenistömme ja muidenkin ydinvoimatoimijoiden osaamista ja liiketoimintaa koulutus- ja hanketoimintamme sekä lukuisien tapahtumiemme ja laajojen kontaktiemme kautta. Tervetuloa siis mukaan ja napataan yhdessä iso pala monikerroksisesta ydinvoimabisnes-kakusta. Ja nähdään ke-säkuussa 2021 Nordic Nuclear Forumissa!

## **Marjut Vähänen**

Executive Director

FinNuclear Association

# Let's have some cake!

**TODAY, IT IS IMPOSSIBLE TO AVOID** climate change debates, wherever you are. Although discussions are often full of threats, the nuclear industry has managed to turn them into opportunities. Indeed, many actors in the nuclear sector openly state that they are on the mission of a zero-emission future, and the positive attitude has also been embraced by nuclear energy non-believers. This will certainly bring new experts and companies to the industry in the future. I have personally felt the change in atmosphere: just over 10 years ago I was left on a dance floor in the middle of a tango when I told I was working in the nuclear industry. Nowadays, I can discuss nuclear power more freely without fear of being abandoned.

We at FinNuclear are actively monitoring the nuclear power industry and have also noticed an increase in the importance of nuclear power. Currently, about 50 new plants are under construction in 15 different countries, and several hundred plants have been ordered, planned or proposed in energy programs in different countries. The more than 400 nuclear power plants in operation generate 10 % of global electricity production and a quarter of EU electricity production. In order to maintain such a good situation, the nuclear sector also needs continuous improvement in the field of modernization and extension of lifetimes.

End-of-life activities, such as decommissioning and waste management, must also be done responsibly. Many facilities and research reactors have reached or are about to reach the end of their service life, and due to the progress and acceptability of nuclear power projects, it is important that plans for nuclear waste management are made and implemented. In addition, new ways of producing energy

are needed; indeed, small modular reactors (SMRs) are being developed in several countries with a view to commercializing the technology in the coming years.

From the extensive repertoire described above, it can be concluded that the entire life cycle of nuclear energy use involves large entities and a lot to do for a long time period. There is work for different experts, as Antti Lammela said in *ATS Ydintekniikka 4/2019*, but above all a lot of business opportunities for different actors. To us Finns, the situation could not be more thrilling, as Finland is considered an international pioneer in many areas of nuclear power: we have nuclear new-build projects, the capacity factors of the existing nuclear power plant units are very high and their operating licenses have been extended, and the Otaniemi research reactor decommissioning project is proceeding.

Responsible work has been done in the management of low- and intermediate-level operational waste, and Finland is currently the most advanced actor in the final disposal of spent nuclear fuel. Work has also been done on SMRs, both in terms of R&D projects and legislation, as has been stated in previous *ATS Ydintekniikka* magazines.

Over the decades, Finland has developed excellence in nuclear power companies, supplier networks and research organizations. In addition, the Finnish Radiation Safety Authority is an internationally respected actor. There is thus a demand for Finnish nuclear power experts, but the challenge is that the know-how is fragmented into different companies and it is not packaged into sufficiently clear entities and networks that would enable a wider offering for international projects.

FinNuclear wants to do its bit and help

in its future projects different actors together to find new business opportunities. This is a natural continuation of our almost 10-year journey, during which we have succeeded in promoting the expertise and business of our members and other nuclear actors through our training and project activities, as well as our numerous events and extensive contacts. So welcome to join us and let us take together a big piece of the multi-layered nuclear business cake. And see you in June 2021 at the Nordic Nuclear Forum!

**Marjut Vähänen**  
Executive Director  
FinNuclear Association

# International Youth Nuclear Congress 2020

The International Youth Nuclear Congress (IYNC) 2020 was held on March 8–13 in Sydney, Australia. IYNC is a biennial global conference of young nuclear professionals. Its aims are to communicate the benefits of nuclear power, to promote peaceful uses of nuclear science and technology, and to transfer knowledge from the current generation to the next.

**Writers:** Timothy Rownes and Santeri Myllynen **Figure:** Matthew Lynch (@lynchypx on Instagram)

**T**HE CONFERENCE THEME WAS “Diversity in Nuclear”. Every continent was represented with around 300 delegates from 43 countries participating. These young(-minded) nuclear professionals came from a range of backgrounds in the nuclear sphere including nuclear power, nuclear medicine, waste management and decommissioning, communications and more.

Diversity was chosen as the conference theme partly because Australia does not operate any nuclear power plants. Although the Australian government has mooted the introduction of nuclear power, the issue does not hold bipartisan support.

The role of nuclear in Australia’s transition away from coal for electricity gener-

ation remains to be seen. The Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO) hosts the 20MWth research reactor OPAL, Australia’s only operating nuclear reactor, to the south of Sydney.

## Representation of ATS YG

The Finnish Nuclear Society Young Generation was represented by Timothy Rownes from Fennovoima and Santeri Myllynen from Fortum. Concurrently, the European Nuclear Society Young Generation Network had a very broad participation as almost every member country had more than one representative.

From Finland, it took approximately 24 hours to travel to Sydney. After the long flight,

the warm and sunny weather felt well-deserved. The week started with an unofficial day walk by the beautiful and windy coast from Bronte to Bondi beach. The walk ended at Bondi Bowling Club. It should be emphasised that the bowling was nothing to do with the Finnish idea of bowling, but was rather like petanque outside in the sunny weather.

## The first day of the conference

The first official day opened with a “welcome to country” by Aunty Ann Wheldon from the local Aboriginal Land Council, and a warm welcome from the organisers. A special Unconscious Bias Session was held to raise awareness and support the conference theme of diversity.

Thereafter, each national representative had the possibility to present the current nuclear outlook of their country. Finland’s presentation showcased first the basic information of the young generation network such as the number of members (around 300 members under 38 years old), common types of events and excursions we organise, and our social media channels. The second part of the presentation introduced Finland’s nuclear outlook; operating reactors (Loviisa 1 & 2 and OL 1 & 2), new-build projects (OL3 and FH1), decommissioning project (FiR 1) and final disposal of spent nuclear fuel facility under construction (Onkalo).

Keynote speakers from ANSTO, Rosatom, IAEA and IFNEC covered nuclear’s global role



**MEngSc. (Nuclear) Timothy Rownes**  
Operation Planning Engineer  
Fennovoima Oy  
timothy.rownes@fennovoima.fi



**M.Sc. (Tech.) Santeri Myllynen**  
Design Engineer  
Fortum Power and Heat Oy  
santeri.myllynen@fortum.com





*Every continent was represented with around 300 delegates from 43 countries participating.*

in clean energy systems and the clean energy transition, and diversity in nuclear applications and the workforce. The day ended with a welcome dinner at Sydney Wildlife Zoo.

Organizers made presentations at the start of each day with updates on the developing COVID-19 situation.

### **Interesting discussions**

The following days of the conference provided many new and valuable experiences as well as interesting conversations and discussions. Several members of parliament addressed the conference including the Deputy Premier of New South Wales, John Barilaro MP, and Ted O'Brien MP who recently chaired an inquiry into nuclear energy in Australia.

The plenary sessions each day had varied themes: Nuclear for Power focusing on the fight against climate change, Nuclear for Life with a focus on human health and agriculture, and Nuclear for Sustainability concentrating on mining, waste management and decommissioning.

Expert panel discussions in the afternoons covered such areas as regional and international repositories, emerging threats to nuclear security, and the role of young professionals changing the face of the nuclear industry.

### **Edifying workshops, technical tracks and tours**


The workshops were an opportunity for group work on topics such as predictive maintenance, digital technologies for nuclear, and even "telling your nuclear story". One workshop had a new nuclear-specific board game with the aim of building and running nuclear power plants and thus, making (a huge amount of) money. The objective of the board game is to teach different types and sizes of nuclear power plants, and that each plant needs a specific amount of materials and investment to generate certain amount of electricity. Because the game was developed for youngsters, the audience could not have been chosen better.

Technical tracks were an opportunity for speakers to present on a variety of topics in-

cluding thermal hydraulics, nuclear fuel cycle, nuclear policy, nuclear safety, security and radiation protection, operations and maintenance as well as non-power applications: medicine, biology and industry. Audiences had the opportunity to learn about the drive for nuclear energy in Kenya, the pro-nuclear referendum in Taiwan, or the upgrade of KBA/KBC systems for load-following at Leningrad-2 NPP.

Technical tours at the end of the week included nuclear medicine facilities at a Sydney hospital, the ANSTO campus and OPAL research reactor south of Sydney, the Australian Synchrotron near Melbourne, and the Australian National University in Canberra. The future of the IYNC community and young nuclear professionals is bright

The number of new and pleasant friends we made was incredible. The size of the world, especially in the context of the nuclear industry, decreased remarkably.

We are looking forward to seeing you in Sochi, Russia at IYNC 2022. Keep an eye on the ATS YG mailing list for opportunities to get involved. 

# Loviisan voimalaitoksen tulevaisuutta käsittelevä YVA-menettely alkoi

Loviisan ydinvoimalaitoksen nykyiset käyttöluvut päättyvät vuosien 2027 ja 2030 lopussa. Fortum Power and Heat Oy käynnisti elokuussa 2020 Loviisan voimalaitoksen käytön jatkamista ja vaihtoehtoisesti käytöstäpoistoa koskevan ympäristövaikutusten arviointimenettelyn (YVA-menettely). YVA-menettelyssä arvioidaan kattavasti sekä käytön jatkamisen että käytöstäpoiston ympäristövaikutukset. Ympäristövaikutusten arvioinnin tulokset koostava YVA-selostus ja yhteysviranomaisen siitä antama perusteltu päätelmä liitetään myöhemmin joko voimalaitoksen uuden käyttöluvahakemuksen tai käytöstäpoistolupahakemuksen liitteeksi.

**Teksti:** Liisa Kopisto **Kuvat:** Fortum Power and Heat Oy



**DI, FM Liisa Kopisto**  
Ympäristöasiantuntija  
Fortum Power and Heat Oy  
liisa.kopisto@fortum.com

**L** OVIISAN YDINVOIMALAITOS koostuu kahdesta voimalaitosyksiköstä, Loviisa 1 ja Loviisa 2, joiden nykyiset käyttöluvut päättyvät vuosien 2027 ja 2030 lopussa. Voimalaitos on tuottanut sähköä luotettavasti jo yli 40 vuoden ajan. Loviisan voimalaitosta koskeva YVA-menettely käynnistyi 13.8.2020, kun Fortum toimitti YVA-ohjelman yhteysviranomaisena toimivalle työ- ja elinkeinoministeriölle.

Ympäristövaikutusten arviointimenettely on YVA-lain (252/2017) ja -asetuksen (277/2017) mukainen menettely, jota sovelletaan uusille hankkeille tai jo olemassa olevien hankkeiden muutoksille, joilla todennäköisesti on merkittäviä ympäristövaikutuksia. YVA-menettelyä edellyttäviä hankkeita voivat olla esimerkiksi moottoritiet, tuotantolaitokset, voimalinjat ja voimalaitokset.

YVA-lain liitteessä 1 luetellaan hankkeet, joihin sovelletaan YVA-menettelyä. Uudet ydinvoimalaitoshankkeet, ydinvoimalaitosten käytöstäpoisto sekä muun muassa radioaktiivisen jätteen loppusijoitus edellyttävät kaikki YVA-menettelyä. Loviisan voimalaitoksen tulevaisuuden osalta Fortum harkitsee voimalaitoksen käytön jatkamista, varautuen kuitenkin samalla voimalaitoksen käytöstäpoistoon. Nämä molemmat vaihtoehdot katetaan nyt käynnistyneessä YVA-menettelyssä, joka on osa Fortumin laajempaa teknis-taloudellista kokonaistarkastelua.

## YVA-menettely pähkinänkuoressa

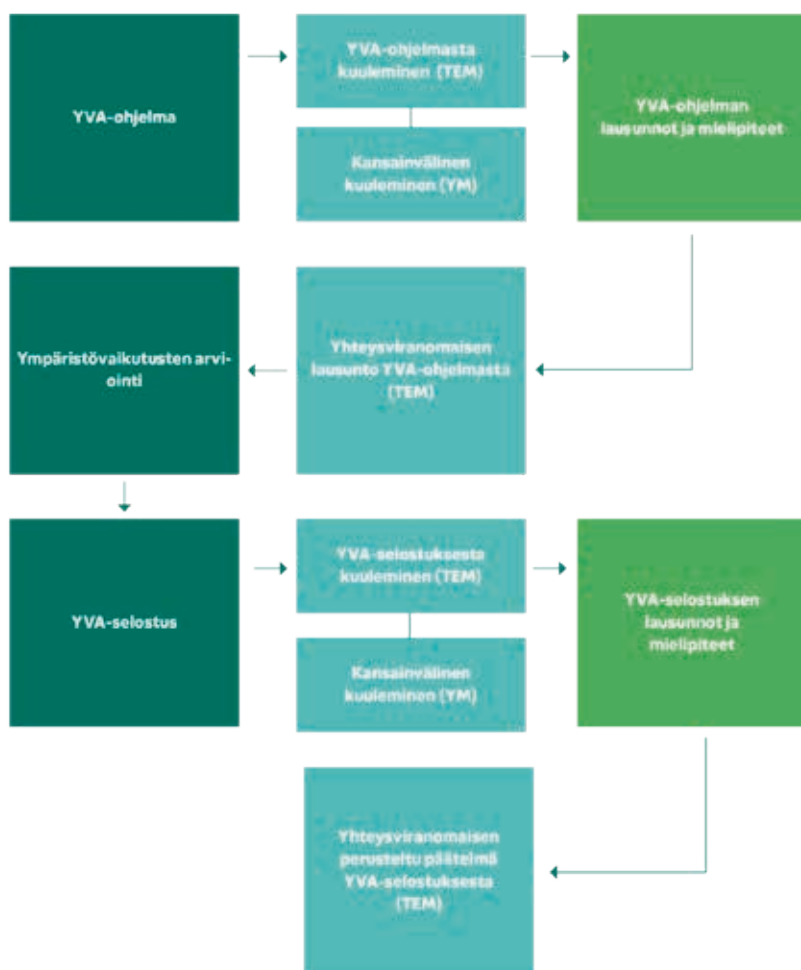
YVA-menettelyn tarkoitus on sekä edistää ympäristövaikutusten arviointia ja ympäristövaikutusten huomioon ottamista hankkeen suunnitteluvaiheessa että lisätä kaikkien tiedonsaantia ja osallistumismahdollisuuksia. YVA-menettely tehdään ennen lupamenettelyä ja sen tarkoitus on tuottaa tietoa hankkeen suunnittelua ja päätöksentekoa varten. YVA-menettelyssä ei tehdä hanketta koskevia päätöksiä.

YVA-menettely on kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa hankkeesta vastava laatii YVA-ohjelman, joka on suunnitelma YVA-menettelyn ja osallistumisen järjestämisestä. YVA-ohjelmassa kuvataan tarkasteltava hanke ja hankkeen vaihtoehdot, sekä muun muassa vaikutusalueen ympäristön nykytila. Yhteysviranomainen ilmoittaa muille viranomaisille ja hankkeen vaikutusalueen kunnille YVA-ohjelman nähtävilläolosta, jolloin kaikki voivat osallistua ja ilmaista mielipiteen tai lausunnon YVA-ohjelmasta.

Kuulemisen jälkeen yhteysviranomaisen koostaa annetut lausunnot ja mielipiteet yhteen ja antaa oman lausuntonsa YVA-ohjelmasta, mikä päättää YVA-menettelyn ensimmäisen vaiheen. Toisessa vaiheessa tehdään ympäristövaikutusten arviointi, jonka teossa huomioidaan YVA-ohjelmasta annetut mielipiteet ja lausunnot. Vaikutusten arvioinnin tulokset koostetaan YVA-selostukseen. Myös YVA-selostus asetetaan YVA-ohjelman tavoin julkisesti nähtäville, ja selostuksesta annettavien lausuntojen ja mielipiteiden pohjalta yhteysviranomainen laatii YVA-selostuksesta perustellun päätelmän. Tämän jälkeen hankkeessa voidaan edetä luvitusvaiheeseen.

Ydinlaitoksia koskevissa YVA-menettelyissä yhteysviranomaisena toimii työ- ja elinkeinoministeriö (TEM), muissa YVA-menettelyissä yhteysviranomainen on paikallinen ELY-keskus. YVA-hankkeissa, joista voi aiheutua Suomen valtion rajat ylittäviä ympäristövaikutuksia,





YVA-menettelyn vaiheet. TEM = työ- ja elinkeinoministeriö, YM = ympäristöministeriö.

toteutetaan kansainvälinen kuuleminen ns. Espoon sopimuksen (SopS 67/1997) mukaisesti. Ympäristöministeriö toimii kansainvälisen kuulemisen yhteysviranomaisena.

### Laaja YVA:n kokonaisuus

Elokuussa 2020 käynnistynyt Loviisan voimalaitosta koskeva YVA-menettely on erityisen laaja kokonaisuus, sillä siinä käsitellään voimalaitoksen käytön jatkamista sekä vaihtoehtoisesti voimalaitoksen käytöstäpoistoa. Sekä käytön jatkamisen että käytöstäpoiston vaihtoehtoon sisältyy useampia vaiheita tai mahdollisia muutoksia, joiden ympäristövaikutukset arvioidaan. YVA-menettelyssä tarkastellaan jo olemassa olevan toiminnan jatkoa, joten esimerkiksi teknistä tietoa ja ympäristövaikutuksiin liittyviä selvityksiä on valtavasti verrattuna esimerkiksi uusia voimalaitoshankkeita käsitteleviin YVA-menettelyihin.

Kuitenkin tätä YVA-menettelyä varten tuetaan myös uutta tietoa, esimerkiksi toteuttamalla erillisselvityksiä luonnonympäristöön liittyen sekä laatimalla aluetaloudellisten vaikutusten mallinnus. Ensimmäistä kertaa Suomessa tässä YVA-menettelyssä arvioidaan ydinvoimalaitoksen käytöstäpoiston vaikutuksia, joten vaikutusten arvioinnissa tulee tältä osin ottaa huomioon uudenlaisia asioita kuin aiemmissa ydinvoimalaitoksia koskevissa YVA-menettelyissä.

Lisäksi tässä YVA-menettelyssä tarkasteltavien hankevaihtoehtojen aikajänne ulottuu pitkälle vuosikymmenien päähän. Käytön jatkamisen vaihtoehdossa tarkastellaan kaiken kaikkiaan noin 2090-luvulle asti ulottuvaa toimintaa, sillä vaihtoehto sisältää sekä voimalaitoksen käytön jatkamisen että jatkokäytön jälkeisen käytöstäpoiston. Nykyisten käyttöluopien päättymisen jälkeen tarkasteltavassa käytöstäpoiston vaihtoehdossa toiminta ulottuu noin 2060-luvulle.

YVA-ohjelmassa on esitetty kolme erilaista hankevaihtoehtoa Loviisan voimalaitoksen jatkolle. Karkeasti jaoteltuna ensimmäinen vaihtoehto käsittelee voimalaitoksen käytön jatkamista ja kaksi muuta vaihtoehtoa voimalaitoksen käytöstäpoistoa nykyisten käyttöluopien päätyttyä. Tarkemmin hankevaihtoehtoja on kuvattu seuraavissa osiassa.

### Vaihtoehto 1, VE1

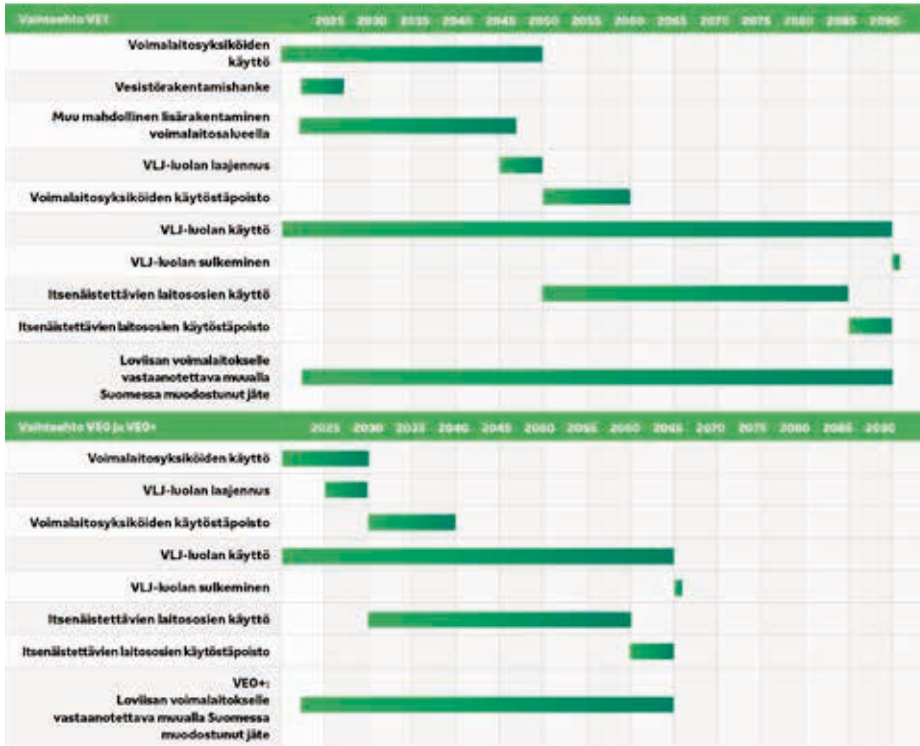
Hankevaihtoehto 1 käsittelee Loviisan voimalaitoksen käytön jatkamista enintään noin 20 vuodelle. Voimalaitoksen käytön jatkamisen aikana voimalaitoksen toiminta olisi saman tyyppistä kuin nykyisinkin, esimerkiksi voimalaitoksen termisen tehon korotusta ei ole suunnitteilla.

Jos voimalaitoksen käyttöä jatketaan, on mahdollista, että voimalaitosalueelle rakennetaan uusia rakennuksia ja rakenteita sekä tehdään modernisointeja. Hankkeeseen liittyy myös radioaktiivisten jätteiden käsittelyyn liittyviä toimintoja voimalaitosalueella sekä matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoituslaitoksen eli VLJ-luolan laajentaminen. Voimalaitosalueella ja sen lähiympäristössä tehtäviä mahdollisia muutoksia ovat esimerkiksi:

- joidenkin vanhojen rakennusten korvaaminen uusilla, esimerkiksi rakentamalla uusi vastaanottovarasto, jätevesilaitos, hit-saushalli ja jätteiden varastointihalli,
- jäähdytysveden ottorakenteen edustan ja lähimerialueen vesirakennustyöt, jotka tähtäävät voimalaitokselle otettavan jäähdytysveden lämpötilan alentamiseen, sekä vesirakennustyöstä syntyvän ruoppaus- ja louhintamassan mahdollinen sijoittaminen uuteen pengerrakenteeseen Hästholmenin lounaispuolelle,
- voimalaitoksen käyttö- ja jätevesiyhteyksien muutokset,
- käytetyn ydinpolttoaineen välivaraston laajentaminen tai vaihtoehtoisesti nykyisen välivaraston kapasiteetin kasvattaminen (esimerkiksi ydinpolttoaineen sijoittaminen nykyisen välivaraston altaisiin tiheämmin).

Vaihtoehdossa 1 huomioidaan myös voimalaitoksen jatkokäytön aikana käytöstäpoistoon valmistautuminen ja voimalaitoksen varsinaisen käytöstäpoisto käytön jälkeen, jolloin laajentamisen jälkeen VLJ-luolan käyttö jatkuisi enintään noin vuoteen 2090.

Yhtenä osana käytön jatkamisen vaihtoehtoa harkitaan työ- ja elinkeinoministeriön asettaman kansallisen ydinjätehuollon yhteistyöryhmän suositusten mukaisesti mahdollisuutta vastaanottaa, käsitellä, välivarastoida ja loppusijoittaa pieniä määriä muualla Suomessa, esimerkiksi tutkimuslaitoksissa,



*YVA-ohjelmassa esitetty alustava arvio hankkeen aikataulusta.*

teollisuudessa, sairaaloissa tai yliopistoissa, syntyneitä radioaktiivista jätettä Loviisan voimalaitosalueella. Koska Loviisan voimalaitoksella on jo olemassa radioaktiivisten jätteiden käsittelyyn ja loppusijoittamiseen soveltuvat toiminnot sekä tilat, olisi luontevaa ja ydinjätehuollon yhteistyöryhmän kannan mukaista, että nämä olisivat käytettävissä osana yhteiskunnallista kokonaisratkaisua.

**Vaihtoehto 0, VE0, ja Vaihtoehto 0+, VE0+**

Yleensä YVA-menettelyissä tarkastellaan ns. nollavaihtoehtoa, joka on hankkeen toteuttamatta jättäminen. Loviisan voimalaitoksen tapauksessa kyseessä on jo olemassa oleva toiminta, joten vaihtoehdossa 0 tarkastellaan voimalaitoksen käyttöä nykyisten käyttöluopien loppuun vuosiin 2027 ja 2030 sekä tämän jälkeen tapahtuvaa käytöstäpoistoa.

Käytöstäpoisto sisältää Loviisan voimalaitoksen radioaktiivisten järjestelmien ja laitteiden purkamisen sekä käytöstäpoistojätteiden loppusijoittamisen VLJ-luolan nykyisiin ja tarpeen mukaan rakennettaviin uusiin tiloihin. Lisäksi käytöstäpoistoon sisältyy tiettyjen jätehuoltoon liittyvien toimintojen ja laitososien itsenäistäminen siten, että kyseiset itsenäistetyt laitososat

voivat toimia ilman voimalaitosyksiköitä niin kauan kuin käytettyä ydinpolttoainetta välivarastoidaan voimalaitosalueella. VE0:n tapauksessa VLJ-luolan käyttö jatkuisi 2060-luvulle.

Voimalaitoksen käytön aikana valmistaudutaan käytöstäpoistoon, johon kuuluvat muun muassa seuraavat toiminnot:

- VLJ-luolan käyttö ja laajentaminen siten, että voimalaitoksen käytöstäpoistossa muodostuva radioaktiivinen käytöstäpoistojäte voidaan loppusijoittaa VLJ-luolaan,
  - itsenäistettävien rakennusten ja rakenteiden (mm. käytetyn ydinpolttoaineen välivarasto, nestemäisen jätteen varasto ja kiinteytyslaitos, VLJ-luola) edellyttämät valmistelutyöt ja käyttö.
- Varsinaiseen käytöstäpoistovaiheeseen kuuluvat muun muassa seuraavat toiminnot:
- voimalaitoksen purkutyöt, joiden osalta päähuomio on radioaktiivisten laitososien ja järjestelmien purkamisessa,
  - radioaktiivisten käytöstäpoistojätteiden käsittely ja loppusijoittaminen VLJ-luolaan,
  - tavanomaisten purkujätteiden käsittely ja jatkohyödyntäminen,
  - itsenäistettyjen laitososien käyttö ja purkaminen,
  - VLJ-luolan sulkeminen.

Käytöstäpoistovaiheen aikana toteutetaan myös käytetyn ydinpolttoaineen kuljetukset ja loppusijoitus Posiva Oy:n kapselointi- ja loppusijoituslaitoksessa. Näiden toimintojen vaikutukset on arvioitu jo aiemmin Posivan toteuttamissa YVA-menettelyissä.

Vaihtoehto 0+ on muuten sama kuin vaihtoehto 0, mutta tässä vaihtoehdossa huomioidaan myös Loviisan voimalaitokselle mahdollisesti vastaanotettavien muualla Suomessa muodostuneiden radioaktiivisten jätteiden käsittely, välivarastointi ja loppusijoitus. Tämä sama mahdollisuus sisältyy myös vaihtoehtoon 1.

**Edellytykset käytön jatkolle**

Loviisan voimalaitos tuottaa vuosittain sähköä valtakunnan verkkoon yhteensä noin 8 terawattituntia. Se vastaa noin 10 % Suomen sähkönkulutuksesta. Loviisan voimalaitos kuuluu turvallisuudeltaan ja käytettävyydeltään maailman parhaiden ydinvoimalaitosten joukkoon.

Fortum on panostanut Loviisan voimalaitoksen ikääntymisen hallintaan ja tehnyt parannustoimenpiteitä koko voimalaitoksen käytön ajan. Vuosien saatossa Loviisan voimalaitoksella on toteutettu lukuisia ydinturvallisuutta parantavia hankkeita. Viime vuosina voimalaitoksella on tehty muun muassa mitattavia automaatiouudistuksia ja modernisoitu ikääntyviä järjestelmiä ja laitteita.

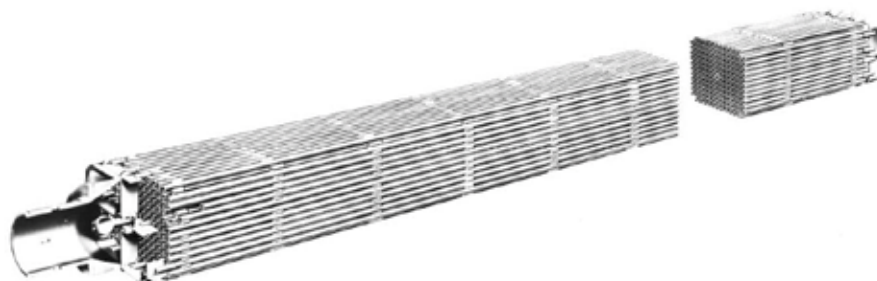
Vuosina 2014–2018 Loviisan voimalaitoksella toteutettiin laitoshistorian laajin modernisointiohjelma, johon Fortum investoi noin 500 miljoonaa euroa. Tehtyjen investointien ja osaavan henkilöstön ansiosta Loviisan voimalaitoksella on erinomaiset tekniset ja turvallisuuteen liittyvät vaatimusten mukaiset edellytykset jatkaa toimintaansa nykyisen käyttöluopajakson jälkeen.

**Päätöksiä tulevaisuudesta myöhemmin**

YVA-menettely etenee seuraavaksi ympäristövaikutusten arviointiin, jossa hyödynnetään laajaa jo olemassa olevaa aineistoa sekä YVA-menettelyä varten tehtäviä erilliselviytyksiä. Vaikutusten arvioinnissa huomioidaan YVA-ohjelman kuulemisessa saatava palaute.

Alustavan aikataulun mukaan YVA-selostus valmistuu kesän 2021 alussa, jolloin se toimitetaan työ- ja elinkeinoministeriölle. YVA-menettelyn arvioidaan päättyvän vuoden 2021 lopulla. Myöhemmin YVA-menettelyn jälkeen selvää, jatkuuko Loviisan voimalaitoksen toiminta vielä tämän vuosikymmenen lopun jälkeen.

Ydinkäyttöisen rahtilaivan NS Savannahin polttoaine-elementti. Sauvat on koottu neliöhilaan, jota pidetään koossa välitukilevyillä (kuva: US DOT Maritime Administration).



## Rikkoutuvista polttoainesauvoista

Väliin törmään somessa viesteihin, missä kauhistellaan ydinvoimaloiden vuotavia polttoaineita ja sitä, miten välttämättä "edes STUK ei tiedä mistä on kyse". Ja totta, uutisissa voi olla hyvinkin viljejä kuvauksia "mystisistä uraanivuodoista", jotka ovat jatkuneet vuodesta toiseen. Kun lopuksi todetaan fraasinomaisesti, että tästä ei ole ollut vaaraa ihmisille tai ympäristölle, voi alkaa jo epäluuloisempaa huolestuttamaan. Ydinreaktori, polttoaine vuotaa ja syytä ei varmuudella tiedetä – tämän konteksti voi kyllä olla haastavaa kommunikoida.

**Teksti:** Ville Tulkki



**TkT Ville Tulkki**

Research Team Leader  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
ville.tulkki@vtt.fi

**YDINVOIMALOISSA ON** radioaktiivisten aineiden leviämisen estämiseksi sisäkkäisiä esteitä: polttoainetabletin keraaminen matriisi, suojakuoriputki, suljettu jäähdytepiiri (käytän jatkossa epäeksaktia ilmaisu primääripiiri) sekä voimalan suojarakennus. Kun puhutaan vuotavista polttoainesauvoista, niin suojakuoriputki on vioittunut ja vuotaa radioaktiivisia aineita primääripiirin jäähdytteeseen, ei ympäristöön.

Kevytvesireaktoreiden polttoaine koostuu päästään suljetun zirkoniumpohjaista metallia olevan suojakuoriputken sisään pinotuista keraamisista uraanioksiditableteista. Tabletit ovat vajaan senttimetrin korkuisia ja paksuisia sylintereitä, suojakuoriputket (ja siten polttoainesauvat) taas muutaman metrin pituisia ja noin sentin paksuisia. Putken ja tablettien väliin jää pieni kaasutila, joka on täytetty heliumilla. Sauvat kootaan joko neliö- tai heksahilaiseen nippuun, jossa on välitukilevyjä pitämässä sauvoja paikoillaan, sekä nipun päissä päätylevyt ja käsittelyn mahdollistavia rakenteita.

Esimerkiksi yhdessä Olkiluodon kiehutusvesilaitoksen reaktorissa on 500 polttoaineni-

pua. Nykyisin kiehutusvesilaitosten polttoaineni- nippuissa on noin 90 polttoainesauvaa per nippu, joten reaktorissa on noin 45 000 polttoainesauvaa. Puhuttaessa vuotavista polttoainesauvoista usein kyseessä on pieni reikä tai kuluma. Siitä pääsee höyryä sisään polttoainesauvaan ja kaasuraossa olevia aineita (radioaktiiviset fissiotuotteet, aktinidit) huuhtoutuu jäähdytteeseen. Yksittäisen polttoainesauvan vuotaminen ei ole mitenkään epätavallinen tilanne, vaan vuosien varrella niitä on ollut jokaisessa suomalaisessa reaktorissa.

### Vuotojen syyt

Mikä sitten vuodon aiheuttaa? Mahdollisia syitä on muutamia, ja tyypillisimmät on esitelty tässä alla. IAEA:n katsauksen mukaan välillä 1994-2006 painevesilaitoksilla tyypillisimmät vuodon syyt olivat välitukilevyn aiheuttama polttoainesauvan hiertymä, vierasesineet ja valmistusvirheet, kun taas kiehutusvesilaitoksilla yleisimmät syyt olivat paikallinen korrosio, vierasesineet, valmistusvirheet ja polttoainetabletin ja suojakuoriputken vuorovaikutuksesta aiheutuva jännityskorrosio-

tuma. Osassa polttoainevuodoista juurisyytä ei pystytä määrittämään.

Vierasineet ovat jäädytevirtauksen mukana polttoainenuoppuun kulkeutuneita irtaimia esineitä. Ne voivat esimerkiksi jäädä kiinni johonkin välitukilevyn ja polttoainesauvan väliin, ja pikkuhiljaa hiertää polttoainesauvaa. Sauvan pinnalle muodostuu reaktorissa korroosiolta suojaava oksidikerros, ja jos sitä hierretään pois jatkuvasti samasta kohdasta, voi siihen kohtaan syntyä reikä. Vierasesineiden kulkeutumista nippuun estetään nipun alaosissa olevilla filtereillä, mutta ne eivät tietenkään ole täydellisiä suoja.

Välitukilevyn hankauman prosessi on vastaava: kovemmasta materiaalista tehty välitukilevy hinkkaa pois suojaavaa oksidikerrosta, jolloin paikallinen korrosio nopeutuu. Näistä pyritään eroon välitukilevyjen suunnittelulla ja materiaalivalinnoilla. Esimerkiksi Loviisan polttoainevaurioiden harvinaistumisen 2000-luvulle tultaessa arveltiin tapahtuneen mahdollisesti sen takia, että välitukilevyt vaihdettiin teräksisistä zirkoniumpohjaisiin.

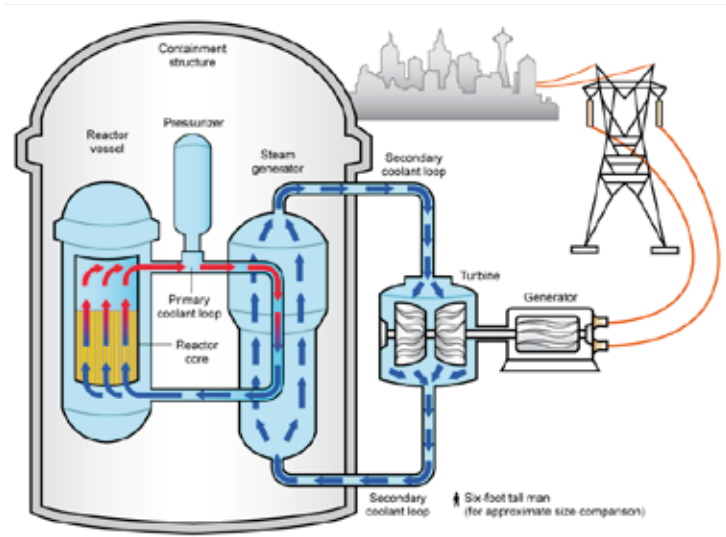
Siinä missä tasainen oksidikerros muodostaa korroosiota hidastavan pinnan polttoainesauvan päälle, paikalliset olosuhteet saattavat aiheuttaa voimakasta paikallista

korroosiota. Näitä on pyritty hallitsemaan sekä suojaokoriputken ja muiden rakenne-materiaalien kehittämällä että primääripiirin vesikemialla.

Polttoainetabletin ja suojaokoriputken vuorovaikutus puolestaan tapahtuu paikallisen tehon noustessa voimakkaasti reaktorin tehonsäädön yhteydessä. Tällöin polttoaineen lämpötila nousee ja polttoainetabletit laajenevat lämpölaajenemisen takia. Ne puskevat viileämpää suojaokoriputkea aiheuttaen siihen jännityksen, ja samalla kemiallisesti aggressiivisia aineita voi vapautua suojaokoriputken sisäpinnalle. Jännitys ja korrodoivat aineet voivat yhdessä aiheuttaa suojaokoriputken jännityskorroosiomurtuman.

Tätä on pyritty estämään sekä kehittämällä polttoaineita, jotka ovat vähemmän herkkiä jännityskorroosiomurtumalle, että reaktorin tehonsäätönopeutta rajoittamalla. Myös polttoainevuotamisen laadunvarmuuden parantaminen on auttanut, sillä sylinterimuodosta poikkeavat polttoainetabletit voivat aiheuttaa paikallisia jännityksiä, jotka toimisivat murtuman lähteinä.

Kuten yllä nähdään, syitä yksittäisten sauvojen vuotamiseen on monia ja ne voivat vaihdella samoissa reaktoreissa eri vuosina.

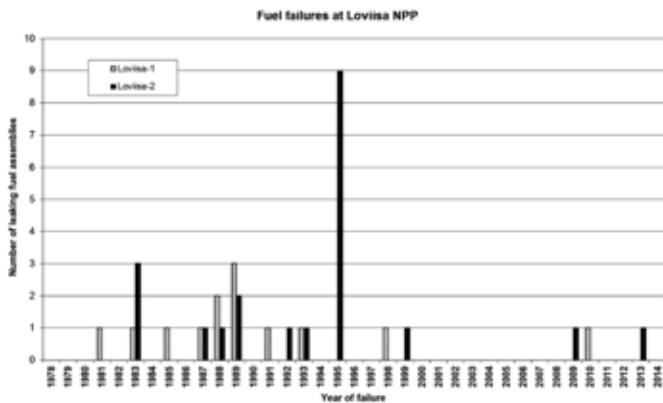


Source: GAO, based on Nuclear Regulatory Commission documentation. | GAO-15-452

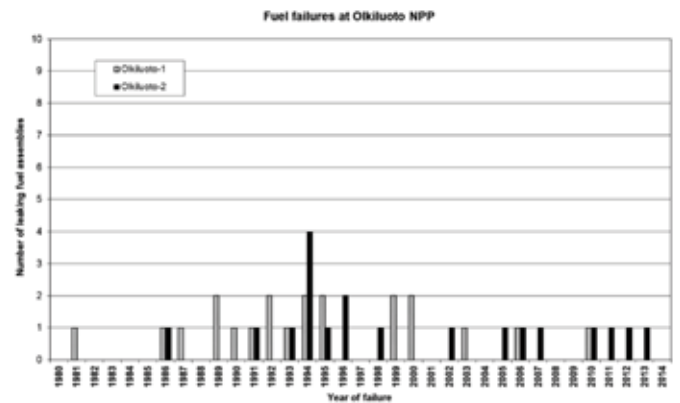
*Ydinvoimalan periaatepiirros. Fyysiset leviämiseest ovat polttoainesauvat (reaktorissa), primääripiiri ja suojarakennus (kuva: US GAO).*

### Rikkoutumisen syyn selvittäminen

Polttoainesauvan vuotamisen syy halutaan saada selville, jotta niitä voidaan jatkossa välttää ja tiedetään, ettei kyseessä ole mikään systemaattinen vika operoinnissa, laitoksessa tai polttoaineessa. Tässä on vuosien varrella edistytty huomattavasti, sekä itse polttoaineen suunnittelun ja valmistuksen laadunvarmistuksen että reaktorien operoinnin osalta.



*Loviisan ydinreaktoreissa olleet vuotavat sauvat vuosittain (kuva: L. Kekkonen, <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/47/082/47082444.pdf?r=1>).*



*Olkiluodon ydinreaktoreissa olleet vuotavat sauvat vuosittain (kuva: L. Kekkonen, <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/47/082/47082444.pdf?r=1>).*



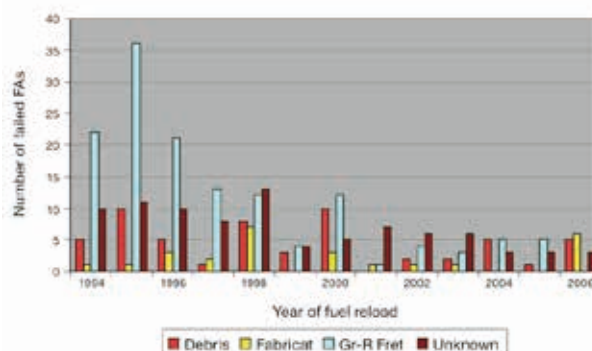


FIG 3.8. PWR fuel leak causes in Europe with the exception of France.

Painevesilaitosten vuotavia sauvoja sisältävien polttoaineriippujen lukumäärä ja syyt Euroopassa poislukien Ranskan laitokset (kuva: IAEA Nuclear Energy Series No. NF-T-2.1).

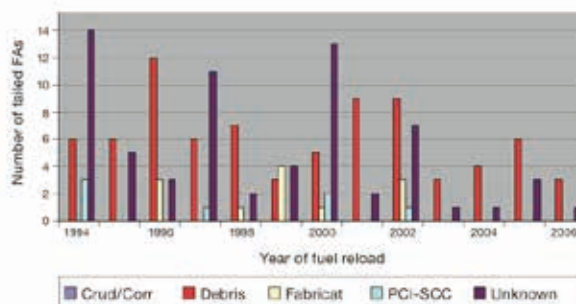


FIG 3.14. BWR fuel failure causes in Europe.

Kiehuvesilaitosten vuotavia sauvoja sisältävien polttoaineriippujen lukumäärä ja syyt Euroopassa (kuva: IAEA Nuclear Energy Series No. NF-T-2.1).

Syy vuodelle voi olla haastava löytää. Käytetty polttoainesauva säteilee, ja sitä pitää käsitellä asianmukaisesti. Voimalaitoksella pystytään useimmiten vain ainetta rikkomattomiin tarkasteluihin, eli esimerkiksi kuvaamaan niput ja yksittäiset sauvat ja mahdollisesti mitaamaan niiden oksidikerroksen paksuutta pyörrevirtamittauksella. Joidenkin vaurioiden juurisyy kyetään tällä tavoin päättelemään, esimerkiksi löytämällä vierasesine vauriokohdan vierestä tai löytämällä vaurio paikasta, joka viitaisi valmistusvirheeseen.

Jos juurisyytä ei kyetä näillä tavoin määrittämään, voidaan sauva myös viedä tarkempiin tutkimuksiin. Nämä materiaalia rikkovat tutkimukset tehdään tähän tarkoitukseen varta vasten rakennetuissa kuumakammioissa, joissa voidaan käsitellä säteileviä näytteitä. Meitä lähimmät käytetyn polttoaineen käsittelyyn liensoidut kuumakammiot ovat Ruotsissa.

## Seuraukset

Ydinvoimaloissa on järjestelmät, jotka puhdistavat primääripiirin vettä. Primääripiirin veden mukana kulkeutuu normaalioloissakin korroosiotuotteita, jotka aktivoituvat reaktorin läpi mennessään. Primääripiirin jäähdytteen aktiivisuustasoa tarkkaillaan. Vuotava sauva päästää radioaktiivisia aineita jäähdytteeseen, ja sen aiheuttama aktiivisuuden muutos havaitaan. Radioaktiivisuuden määrästä ja laadusta voidaan myös tehdä arvioita vuotavien sauvojen lukumäärästä, ja myös niiden sijainti reaktorissa voidaan päätellä.

Reaktorin ajotavan muuttamisella voidaan minimoida myös päästöt sauvasta jäähdytteeseen ja estää sauvan vuotamisen paheneminen. Usein vuotavan sauvan kanssa voidaan reaktoria ajaa suhteellisen normaalisti suunnitellun käyttöjakson loppuun, min-

kä jälkeen poistetaan nippu, jossa sauva on. Joskus seuraavaan seisokkiin on turhan pitkä aika tai vuotava sauva aiheuttaa liikoja rajoitteita reaktorin operoinnille, ja voidaan päätyä ylimääräiseen seisokkiin vuotavan sauvan poistamiseksi reaktorista. OECD/NEA on laatinut katsauksen käytäntöihin vuotavien sauvojen tapauksessa ([www.oecd-nea.org/nsd/docs/2014/csni-r2014-10.pdf](http://www.oecd-nea.org/nsd/docs/2014/csni-r2014-10.pdf)).

Ydinturvallisuudesta puhuttaessa ydinpolttoaine muodostaa ensimmäiset fyysiset esteet vaarallisten radionuklidien leviämislle. Mutta myös määrä ratkaisee: tilanteet joissa muutama sauva kymmenistä tuhansista vuotaa, eivät aiheuta vaaraa ihmisille tai ympäristölle. ☸

*Juttu on julkaistu alun perin Fissioreaktori-blogissa: [fissioreaktori.wordpress.com](http://fissioreaktori.wordpress.com).*



# Koneäly parantaa tarkastusten luotettavuutta ja tehokkuutta

Ilkka Virkkunen, Oskar Siljama, Topias Tyystjärvi  
Trueflaw Oy

Luotettava rikkomaton tarkastus turvaa osaltaan ydinlaitosten keskeytymätöntä ja turvallista käyttöä. Erityisesti käyttöiän pidentyessä on käytön aikana mahdollisesti syntyvien vaurioiden varhainen havaitseminen tärkeää. Tarkastusmenetelmät ovat kehittyneet nopeasti viime vuosina ja aiemmat käsin tehdyt tarkastukset ovat paljolti korvautuneet mekanisoiduilla tarkastuksilla. Itse tarkastusdatan evaluointi tehdään kuitenkin edelleen ihmistarkastajien voimin. Perinteinen automaatio ei ole pystynyt erottamaan vikoja yhtä tarkasti kuin ihminen eikä saavuttamaan tarkastuksilta vaadittavaa korkeaa suorituskykyä. Aivan viime vuosina koneoppimiseen perustuva automatisoitu analyysi on muuttanut tämän. Nämä automatisoidut järjestelmät löytävät säröjä yhtä hyvin kuin ihmistarkastajat. Automaattiset järjestelmät ovat erittäin nopeita ja toistettavia, eivätkä ne ole alttiita väsymyksestä tai kiireestä johtuville inhimillisille virheille.

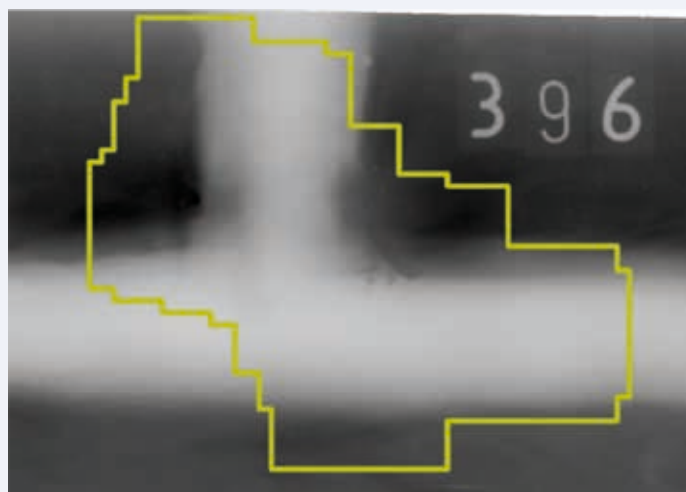
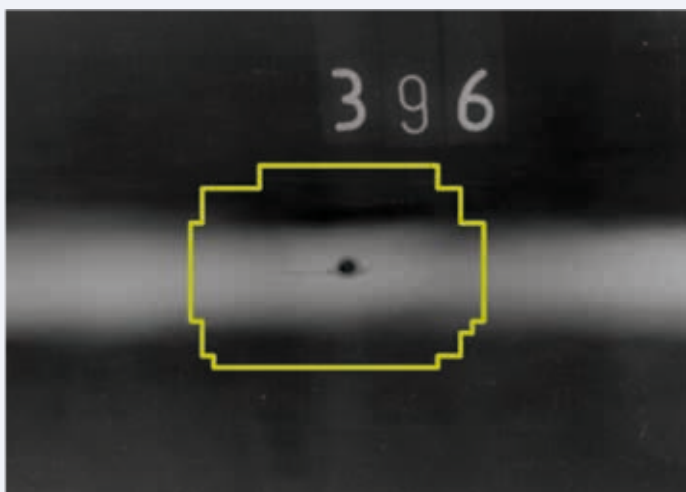
Reliable non-destructive testing forms an important part of the uninterrupted and safe operation of nuclear power plants. With extending plant lives, the early detection of service-induced incipient failures is especially important. The inspection methods have developed quickly in the recent years and the previously used manual inspections have given way to mechanized inspections. However, the data evaluation is still done exclusively by human inspectors. The traditional automated systems have not been able to detect flaws from complex data as well as the human inspectors. In the recent years, a new generation of automated data analysis systems based on machine learning have changed this. These systems display flaw detection capability on a par with the human inspections. In addition, the automated systems are very fast and highly repeatable. They are not susceptible to human errors associated with fatigue or time pressure.

Rikkomaton tarkastus on tärkeä osa ydinlaitosten luotettavan käytön ja turvallisuuden varmistamista. Käytön aikana mekaanisiin komponentteihin syntyvät vauriot havaitaan seisokin aikaisissa tarkastuksissa kauan ennen kuin ne uhkaavat rakenteellista eheyttä tai putkiston tiiveyttä. Kaikki kriittiset mekaaniset komponentit kuten reaktoripaineastia ja primääripiirin hitsit tarkastetaan määrävälein ultraääniluotauksella ja muilla menetelmillä.

Tarkastusmenetelmät ovat kehittyneet nykyisten laitosten käyttöiän aikana merkittävästi. Alkuvaiheen käsin tehdyistä tarkastuksista on siirrytty enenevässä määrin mekanisoiituihin tarkastuksiin, joissa tarkastusdata kerätään automatisoidusti. Lisäksi tarkastusmenetelmät ovat

kehittyneet, ja nyt kerättävä tarkastusdata on monin verroin rikkaampaa ja yksityiskohtaisempaa kuin mitä aiemmin oli saatavilla. Tämä kaikki on parantanut tarkastusten luotettavuutta ja mahdollistanut aiempaa paremman laitosten kunnon seurannan.

Tarkastajan työ on erittäin vaativaa. Tarkastusdata tulee käydä tarkasti läpi. Mahdolliset havaittavat indikaattorit ovat pieniä, joten työ vaatii jatkuvaa huolellista keskittymistä. Säröt laitoksissa ovat harvinaisia ja suurimmassa osassa tarkastuksia ei löydetä mitään. Niinpä suurin osa tarkastajan ajasta käytetään viattoman datan perkaamiseen. Tarkastusten luotettavuus on viritetty äärimmilleen huolellisesti optimoiduilla tarkastusohjeilla ja kokeelliseen näyttöön perustuvilla päte-



Kuva 1. Hitsausliitoksesta automaattisesti koneoppimisella löydettyjä vikoja (kuva: Trueflaw & Dekra).

vöinneillä. Siitä huolimatta maailman ydinlaitoksissa on tullut vastaan tilanteita, joissa säröjä on jäänyt havaitsematta [1]. Tarkastajat ovat ihmisiä ja yksitoikkoinen suurta huolellisuutta vaativa työ on altis inhimillisille virheille.

Vaikka tarkastukset on monilta osin automatisoitu, tehdään varsinainen datan analyysi vielä lähes täysin ihmisvoimin. Ihmistarkastajat pystyvät löytämään pieniäkin vikoja kohinaisesta datasta eikä perinteinen automatisointi ole kyennyt samaan suorituskykyyn. Koneäly on kuitenkin muuttanut tämän ja uudet koneoppimiseen perustuvat ratkaisut löytävät säröt yhtä hyvin kuin ihmistarkastajat [2]. Lisäksi automatisoitu analyysi tekee tarkastuksista toistettavampia ja nopeampia. Kun yksitoikkoinen datan evaluointi jätetään koneelle, voi tarkastaja keskittää aikansa niihin harvinaisiin tilanteisiin, joissa jotakin löydetään.

Kun automatisoinnin edut kerran ovat näin merkittävät, voidaan kysyä miksei koneoppimista ole sovellettu jo aiemmin. Ensimmäiset julkaisut koneoppimisen soveltamisesta rikkomattomaan tarkastukseen (non-destructive testing, NDT) ovat jo kymmeniä vuosia vanhoja [3], mutta vasta nyt koneoppiminen näyttää tulevan osaksi käytännön tarkastuksia.

### Koneoppimisen ensimmäinen aalto – kevyet mallit (shallow learning)

Perinteinen automaatio ei riitä haastavan tarkastusdatan analysointiin, sillä vian havaitsemista ei voida palauttaa yksinkertaisiin kaavoihin tai sääntöihin. Vaikka tarkastukset tehdään tarkan ohjeen mukaan, käyttää tarkastaja pienten vikojen havaitsemiseen kokemuksen kautta opittua taitoa ja erottaa vian, vaikka sen signaalitaso tuskin nousee kohinasta.

Ensimmäiset koneoppimiskäytännöt NDT-käyttöön pyrkivät kiertämään juuri tämän ongelman. Vaikka ongelma on liian vaikea palautettavaksi artikuloituihin sääntöihin, voidaan efektiiviset säännöt opettaa esimerkiksi pienelle neuroverkolle, jos päätöksen tekemiseen tarvittavat lähtötiedot voidaan yksinkertaistaa rajatuksi joukoksi merkittäviä piirteitä (features), joiden perusteella vika on löydettävissä. Neuroverkkojen lisäksi piirteistä oppimiseen voidaan käyttää monia muitakin matemaattisia työkaluja, kuten tukivektorikoneita (support vector machines, SVM), bayesilaista mallinnusta ja monia muita.

Tätä lähestymistapaa on sovellettu myös rikkomattomaan tarkastukseen. Jo 1990-luvulla julkaistiin ensimmäiset artikkelit ultraäänitarkastuksen vianhavaitsemisesta pienellä neuroverkolla [3]. Viime aikoina lähestymistapaa on sovellettu esimerkiksi vikojen havaitsemiseen valtuissa kappaleissa röntgen- ja pyörrevirtatarkastuksilla [4].

Valitettavasti nämä mallit osoittautuivat kuitenkin riittämättömäksi laajempaan hyödyntämiseen rikkomattomassa tarkastuksessa. Joidenkin menetelmien kuten pyörrevirtatarkastusten osalta voidaan tarkastusdata yksinkertaistaa olennaisiksi piirteiksi verraten helposti. Yleensä on kuitenkin osoittautunut, että näiden piirteiden erottaminen ja määrittely on erittäin hankalaa ja tapauskohtaista.

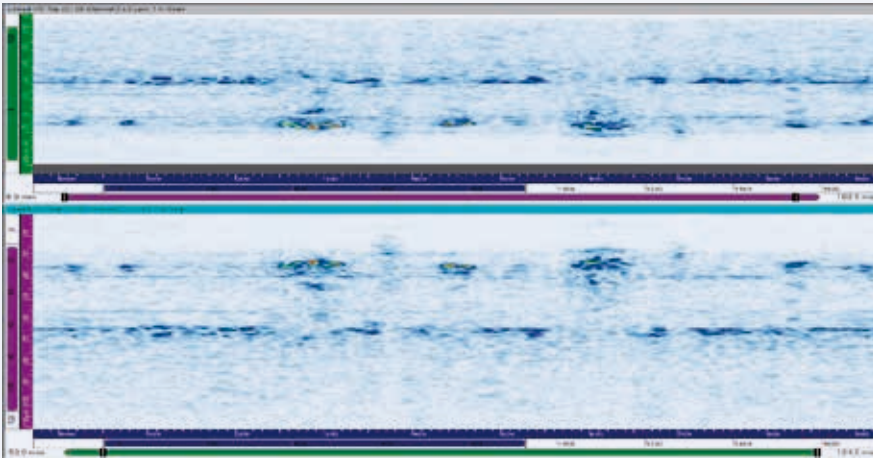
Toinen ongelma näissä yksinkertaisissa malleissa on, että ne eivät pysty hyödyntämään tarkastusmenetelmien kehitystä. Tarkastusmenetelmät ovat kehittyneet jatkuvasti suuntaan, jossa tarkastusdataa kerätään enemmän ja se on rikkaampaa ja yksityiskohtaisempaa. Ennalta määrättyihin piirteisiin perustuva koneoppiminen ei pysty hyödyntämään tätä kasvavaa tietomäärää.

### Syväoppiminen oppii suoraan datasta

Sama ongelma oli onneksi myös muilla aloilla koneoppimisen hyödyntämisessä. Niinpä 2010-luvulta alkaen tutkimus suuntautui kohti yhä syvempiä verkkoja, jotka saattoivat hyödyntää yhä laajempaa ja moniulotteisempaa lähtödataa. Tämä syväoppiminen (deep learning) on saavuttanut vallankumouksellisia tuloksia kasvojen tunnistuksessa, konekäännöksissä ja monissa muissa käyttökohteissa ja on päivittäisessä käytössä monella alalla.

Sama kehitys on sovellettavissa myös rikkomattoman tarkastuksen käyttöön. Viime vuosina syväoppimisverkkoja on sovellettu muun muassa ultraäänidataan [5, 6], digitaaliseen radiografiaan [7] ja visuaaliseen tarkastukseen [8, 9]. Kuvassa 1 on esimerkki Trueflaw'n ja Dekran kehittämästä automaattisesta digitaalisen radiografian analysoinnista, joka saavutti ihmisen suorituskyvyn. Modernit syväoppimisverkot voivat hyödyntää suoraan monipuolista tarkastusdataa, kuten monikanavaisia vaiheistetun ultraäänen aineistoja, ja löytävät säröjä yhtä hyvin kuin ihmistarkastajat.

Entä miksi sitten mallit eivät jo ole kaikkialla käytössä? Ja miksi Suomessa ollaan yllättäen tämän kehityksen kärjessä? Syvät koneop-



Kuva 2. Virtuaalivikatekniikalla luotuja ultraäänidatoja, joita voidaan käyttää koneälymallin opettamiseen (kuva: Trueflaw).

pimismallit tuovat mukanaan ongelmansa. Mitä monipuolisempi malli on käytössä, sitä laajempi data tarvitaan sen opettamiseen.

Rikkomattoman tarkastuksen osalta tämä tarkoittaa tarkastusdataa viallisista ja viattomista kohteista. Koska vikoja on harvoin, on riittävän viallisen datan löytäminen entistä suurempi haaste. Lisäksi tarkastusdatat ovat vikojen suhteen epätasapainossa: viatonta dataa on erittäin paljon suhteessa vialliseen dataan. Tällaisen tarkastusdatan käyttö suoraan opetuksessa ei anna hyviä tuloksia.

Nyrkkisääntönä koneoppimisessa on, että noin 5000 opetusesi-merkin avulla voidaan saavuttaa kohtuullinen suorituskyky, mutta ihmistasoisen suorituskyvyn saavuttamiseen tarvitaan noin 10 miljoonaa opetusesi-merkkiä. Vikoja sisältäviä tarkastusaineistoja on tyypillisesti käytössä joistakin kymmenistä vioista. Tarkastusdata on koneoppimisen näkökulmasta usein tavallista yksinkertaisempaa, ja noin 300 000 opetusesi-merkkiä riittää usein saavuttamaan ihmisen suorituskyvyn. Ero saatavilla olevien aineistojen ja tarvittavan datan välillä on silti suuri. Niinpä tarvittavan opetusdatan luomiseen tarvitaan kehittyneitä tekniikoita, ja tässä Trueflaw'n Suomessa kehittämä virtuaalivikateknologia on avainasemassa.

### Virtuaaliviat – avain koneoppimisen hyödyntämiseen tarkastuksissa

Trueflaw on vuodesta 2014 alkaen kehittänyt tarkastajien koulutukseen ja päteväntiimiin eFlaw -virtuaalivikoja [10–14]. Vikoja ja viallisia koekappaleita on aina ollut vähän käytettävissä. Erityisesti ydinvoima-alalla todellisia laitoskomponentteja vastaavien koekappaleiden valmistus on ollut erittäin kallista. Myös käytössä syntyviä vastaavien vikojen valmistus on ollut paikoin haastavaa. Huolimatta merkittävistä investoinneista koekappaleisiin ovat muuttuneet vaatimukset ja kehittynyt tarkastustekniikka pitäneet yllä jatkuvaa tarvetta suurempaan määrään vikoja.

Tarve suureen määrään vikoja tulee lähinnä siitä, että tarkastuskoh-teissa, esimerkiksi primääripiiriin hitsi, on vaihtelua ja vian havaittavuus riippuu paitsi vian ominaisuuksista myös siitä, miten se sattuu sijait-

semaan suhteessa koekappaleen luontaiseen materiaalivaihteluun. Lisäksi luotettavuuden arvioimiseksi tarvitaan lukuisia toistoja, jotta voidaan varmistua hyvästä havaitsemistodennäköisyydestä.

Virtuaalivikatekniikassa vikasignaali erotetaan tarkastusdatasta. Erotettu vikasignaali voidaan uudelleen liittää toiseen sijaintiin tai tarkastustiedostoon. Näin rajallinen joukko todellisia vikoja saadaan laajennettua kuvaamaan paljon laajempaa vikapopulaatiota. Vaikka näin tosinnetut virtuaaliviat toistavat joitain yhtäläisyyksiä, ne tuovat kuitenkin olennaisesti lisää vaihtelua tarkastustilanteeseen erilaisista vikasijainneista, taustaeroista ja modifikaatioista johtuen. Virtuaalivikoja käytetään nyt tarkastajien koulutuksissa ja pian päteväinnissä eri maissa.

Samalla tekniikalla voidaan luoda koneoppimisen vaatimia laajoja tietoaaineistoja. Kohtuullinen määrä todellisia vikoja voidaan laajentaa valtavaksi joukoksi opetusdataa. Koneoppimista varten vikasignaalia voidaan lisäksi modifioida eri tavoin ja siten laajentaa opetusaineistoa entisestään (kuva 2).

Virtuaalivikatekniikkaa voidaan soveltaa laajasti erilaiselle tarkastusdataalle ja se mahdollistaa modernien suorituskykyisten koneoppimismallien opettamisen ja hyödyntämisen erilaisissa tarkastuksissa. Tekniikkaa on toistaiseksi hyödynnetty onnistuneesti erilaisiin ultraäänitarkastuksiin, radiografiaan ja pyörrevirtatarkastuksiin ja menetelmien joukko laajenee jatkuvasti.

### Koneäly osana tarkastusta

Kun automaattinen datan analyysi saavuttaa ihmisen suorituskyvyn, sitä voidaan käyttää helpottamaan tarkastajan taakkaa. Koneäly seuloa tarkastusdatan ja osoittaa tarkastajalle mahdolliset raportoitavat vikaindikaatiot. Suurimmassa osassa tarkastuksia ei löydetä merkittäviä vikoja, ja automaattinen seulonta säästää merkittävästi tarkastajan aikaa. Kun sitten jotain löytyy, jätetään lopullinen päätös tarkastajalle, joka voi päättää esimerkiksi lisätutkimuksista.

Jotta automaattinen tarkastus voidaan ottaa osaksi ydinvoimalaitostarkastuksia, tulee sen suorituskyky osoittaa kuten muidenkin tarkastusten. Rikkomattoman tarkastuksen suorituskyky osoitetaan usein tilastollisin menetelmin kuten määrittämällä havaitsemistodennäköisyys (probability of detection, POD). Ydinlaitosten tarkastuksissa vaaditaan erillinen päteväntiimi, jossa luotettavuus osoitetaan teknisen perustelun ja kokeellisten näyttöjen yhdistelmällä.

Euroopan päteväntikäytäntöjä kehittävä ENIQ (European network for inspection qualification) julkaisi keväällä kannanoton, jossa arvioitiin koneoppimista hyödyntävien tarkastusjärjestelmien soveltuvuutta ydinlaitoksille päteväntiimiin tarkastuksiin [15]. ENIQ toteaa, että nykyinen päteväntikäytäntö on joustava ja sallii myös koneoppivien järjestelmien hyödyntämisen. Yhteensopivuudella on kuitenkin muutamia edellytyksiä: oppiminen tulee pysäyttää ennen päteväntiimiä, jotta järjestelmä antaa toistettavia ja ennakoitavia tuloksia päteväinneissä ja tarkastuksissa. Lisäksi kokeellisten näyttöjen ja tilastollisten menetelmien merkitys päteväinnissä kasvaa. ENIQ valmistelee suositusta koneoppivien järjestelmien päteväinnistä.

## Lopuksi

Koneoppiminen tarjoaa merkittävän mahdollisuuden tehostaa rikkomattomia tarkastuksia ja lisätä niiden toistettavuutta ja luotettavuutta. Samalla tarkastajan työn mielekkyys ja ergonomia paranevat. Järjestelmät ovat viime vuosina saavuttaneet rikkomattomilta tarkas-

tuksilta vaaditun suorituskyvyn ja ovat yhtä hyviä kuin ihmistarkastajat. Myös hyödyntämiseen tarvittavat pätevöintikäytännöt ja yhteensopi- vuus eri alojen erityisvaatimusten kanssa ovat nopeasti kehittymäs- sä. Koneoppiminen on tulossa osaksi tarkastuksia ja helpottamaan tarkastajien työtä.

## Viitteet

- [1] Angelov S, Babics P, Bertovic M et al. Improvement of Effectiveness of In-Service Inspection in Nuclear Power Plants. IAEA TECDOC series. 2018; IAEA-TECDOC-1853
- [2] Virkkunen I, Koskinen T, Jessen-Juhler O, Rinta-Aho J. Augmented Ultrasonic Data for Machine Learning. arXiv. 20191903.11399v1.
- [3] Masnata A, Sunser M. Neural Network Classification of Flaws Detected by Ultrasonic Means. NDT&E International. 1996;29:87-93.
- [4] Mery D, Arteta C, Automatic Defect Recognition in X-Ray Testing Using Computer Vision. 2017 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV). 2017.
- [5] Munir N, Kim HJ, Park J, Song SJ, Kang SS. Convolutional neural network for ultrasonic weldment flaw classification in noisy conditions. Ultrasonics. 2018
- [6] Munir N, Kim H-J, Song S-J, Kang S-S. Investigation of deep neural network with drop out for ultrasonic flaw classification in weldments. Journal of Mechanical Science and Technology. 2018;32:3073-3080.
- [7] Du W, Shen H, Fu J, Zhang G, He Q. Approaches for improvement of the X-ray image defect detection of automobile casting aluminum parts based on deep learning. NDT & E International. 2019;107:102144.
- [8] Chen F-C, Jahanshahi MR. NB-CNN: Deep Learning-Based Crack Detection Using Convolutional Neural Network and Naïve Bayes Data Fusion. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2018;65:4392-4400.
- [9] Chen F-C, Jahanshahi MR. Real-time Crack Detection from Nuclear Inspection Videos Using Fully Convolutional Network and Parametric Data Fusion. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 20201-1.
- [10] Svahn P-H, Virkkunen M, Zettervall T, Snögren D, The use of virtual flaws to increase flexibility of qualification. 12th European Conference on Non-Destructive Testing, Gothenburg 2018, June 11-15 (ECNDT 2018). 2018.
- [11] Virkkunen I, Miettinen K, Packalén T, Virtual flaws for NDE training and qualification. 11th European Conference on Non-Destructive Testing, Prague 2014, Oct 6-11 (ECNDT 2014). 2014.
- [12] Virkkunen I, Koskinen T, Jessen-Juhler O. Virtual round robin – a new opportunity to study NDT reliability. To be published. 2020
- [13] Virkkunen M, Rönneteg U, Grybäck T, Emilsson G, Miettinen K, Feasibility Study of Using eFlaws on Qualification of Nuclear Spent Fuel Disposal Canister Inspection. 12th International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components, Dubrovnik, Croatia. 2016.
- [14] Virkkunen M, Virtual cracks and the future of inspection reliability. Kärnteknikdagarna, Stockholm, 14-15 Nov. 2017.
- [15] Virkkunen I, Bolander M, Myöhänen H, Miorelli R, Martin O. Qualification of an Artificial Intelligence / Machine Learning Non-Destructive Testing. ENIQ Position Paper. 2020; ENIQ Publication no. 64

## Kirjoittajat



**Prof. (Adjunct) Iikka Virkkunen**  
Trueflaw Oy  
iikka.virkkunen@trueflaw.com



**M.Sc. Oskar Siljama**  
Trueflaw Oy  
oskar.siljama@trueflaw.com



**B.Sc. Topias Tyystjärvi**  
Trueflaw Oy  
topias.tyystjarvi@trueflaw.com

# Development of a separative microsystem for radionuclide analysis in nitric acid media on organic monolith

Marion Losno

Den – Service d'Etudes Analytiques et de Réactivité des Surfaces (SEARS), CEA, Université Paris-Saclay, F-91191, Gif sur Yvette, France

An original method of monolith impregnation in microsystem for the analysis of radionuclides in nitric acid is reported. The robustness of the microsystems in nitric acid media until 8 M was demonstrated. High exchange capacity and affinity for tetravalent and hexavalent actinides in concentrated nitric media were obtained. The retention characteristics of the microcolumns impregnated by different extractants were better than the equivalent commercial particulate resins TBP<sup>TM</sup>, TRU<sup>TM</sup> and UTEVA<sup>TM</sup>. The separation of U, Th and Eu was also validated in microsystem: this is the first step for an industrialization of the method.

Spent fuel is reprocessed by dissolution in boiling concentrated nitric acid and then by the separation of uranium, plutonium and non-recoverable waste. Accurate accounting of nuclear material is performed at the entrance of the reprocessing process, after dissolution and throughout the process for environmental regulatory reasons and non-proliferation concerns. Moreover, increased public attention to radioactive waste and potential public health effects of release of radioactive materials to the environment has made accurate and reliable methods for actinide determinations in various environmental and biological samples increasingly important. Hence, the radionuclide analyses have seen an increasing demand.

## Analysis of radionuclides today

The analysis of radionuclides which are dissolved in spent fuel samples is carried out according to operating protocols including the sequence of several separation/purification steps before carrying out the measurement to avoid interference and improve measurements accuracy. Current protocols involve separation by solid phase chromatography, because they provide an easy way to pre-concentrate and even separate a large number of radionuclides, particularly actinides and selected fission products, from a wide variety of sample matrices, notably UTEVA<sup>TM</sup>, TRU<sup>TM</sup> and TBP<sup>TM</sup> columns containing impregnated particulate resins. These protocols are long, irradiating, and difficult to implement in a glove box. They produce a significant volume of liquid and solid waste. For instance, only one step of these analyses currently generates often one hundred milliliters of radioactive effluents which must then be treated.

High-speed methods dedicated to elemental or isotopic analysis of the nuclear domain, consuming only a very small amount of solvent, which can be automated and targeting the desired compounds, must therefore be developed to enable the acquisition of increasingly reliable data at a lower cost. Then, the aim of this PhD work was to propose an innovative alternative to the use of solid-phase extraction columns in radionuclide separation protocols in concentrated nitric medium allowing:

- to reduce waste at the end of the analytical cycle,
- to reduce the implemented radioactivity during the analysis,
- to increase the speed of the analyses,
- an automation to reduce the costs,
- while the quality of the separation is maintained.

## Microfluidic choice

The development of radiochemical separations at the micrometric scale is part of this approach. The miniaturization of the analytical procedures in the nuclear field is a way forward to reduce both risk and nuisances related to radioactive samples, which are direct functions of involved quantities of samples. The major advantage of the miniaturization is the significant reduction of volume (or quantity) of samples, reagents and waste as well as time of analysis.

Microsystems are strong parallel processing tools and present a noteworthy ability to automation. The transfer of solid-phase extraction onto microfluidic format could have been addressed as a simple and direct miniaturization challenge by packing of conventional particles in a trapping zone in microchannel using weirs. However, two major





Figure 1. Principle and dimensions of the chromatographic microsystem.

issues may arise from the packing technology: reproducibility of the packing process and particle immobilization.

Therefore, a second option, inspired from biologic developments, based on the use of photopolymerized monoliths as stationary phases in miniaturized format was chosen. The principle of the system is shown in Figure 1. The synthesis of monoliths can easily be conducted in situ and the resulting continuous bed exhibits a bimodal structure with large through-pores for flow and small pores for retention of the analytes. The design of such a system initially required the definition of a specification taking into account the requirements imposed by actinide chemistry in nitric medium but also by technological constraints:

1. ease of microfabrication of the microsystem,
2. compatibility of the constituent material of the microsystem with the integration of the stationary phase and its functionalization,
3. ease and robustness of the integration and functionalization of the stationary phase in microsystem,
4. use of mobile phases of nitric acid several times molar,
5. chemical stability in a concentrated nitric medium (up to  $[\text{HNO}_3] = 8 \text{ mol/L}$ ) and mechanical resistance to pressure,
6. versatility of functionalization for adaptation to various separations,
7. high exchange capacity (samples with high concentrations).

### Work orientation

A state of the art has been drawn up in order to identify the solutions that best meet these specificities. The requirements 1), 2) and 4) have oriented the choice of the cyclic olefin copolymer as material for the fabrication of the microsystem. The choice to synthesize a porous poly(ethylene glycol methacrylate - co-allyl methacrylate) monolith was led by 3), 4) and 5). Once selected the nature of the stationary phase, the strategy adopted was to develop a “generic” one which can be functionalized with a large variety of extractants and in-situ synthesized in the microsystem in order to ease the production of versatile micro-columns.

The PhD work focused on four axes:

- I. the fabrication of the microsystem in COC and the modification of the microchannels internal surface characteristics to be compatible with the anchorage of the monolith,
- II. the development of a customizable generic stationary phase in acrylate copolymer,
- III. the development of a versatile functionalization methodology in microsystem,
- IV. the demonstration of the feasibility of a separation.

Before the implementation of the stationary monolithic phase in the microsystem, a new method of in situ modification of the COC microfluidic channel was implemented. Indeed, the monolith needs to be firmly anchored at the surface of the wall to avoid any leaks of the mobile phase. Leaks could lead to deformation of the separation profile and avoid separation of the species.

One of the challenges was to anchor on a COC surface, because COC was first chosen because of its low reactivity with chemicals to not interact with mobile phase. The anchoring method was developed following an experimental design and the functionalization of the surface was checked by contact angle measurement. The advantage of the method is the use of the same reagent as compounds of the monolith. It prevents any unexpected interactions between the COC channel modification and the synthesized monolith. The international deposited patent confirms the innovative aspect of the developed method [1].

Since the optimization of a new morphology of monolith is empirical and time consuming, a design experiment was realized to establish a relation between the experimental conditions and globules area and permeability. The chemometric approach is often used for the optimization of molecularly imprinted polymers, but it is very unusual for other organic polymers. The stationary phase is a monolithic organic phase polymethacrylate.

The in-situ synthesis was optimized by use of a mixture design that resulted in a predictive model (correlation coefficient of  $R^2_{\text{adjusted}} = 0.96$ ). The morphology of the monolith checked by scanning electron microscopy and Hg porosity measurements allowed to determine the permeability of the material thanks to the Katz and Thomson model. This reasoned approach provided the synthesis of a stationary phase with specific adjustable nodules diameter and permeability area. This was verified for three diameter values of the nodules (1, 1.5 and 2  $\mu\text{m}$ ).

The study of the stationary phase at different scales has revealed an influence of the dimensions of the microchannel on the diameter of the nodules, in particular the width of the microchannel and the diameter of the nodules are linked by a 2nd order polynomial relation. Thanks to the model resulting from the mixture design and to this polynomial relation, it is possible to synthesize a monolith with an adjustable structure in a microsystem [2, 3, 4, and 5].

### A new efficient functionalization method

At that point, a customizable generic stationary phase was synthesizable. The development of the functionalization method could be started.

In order to be able to adapt the functionalization to the separation of interest, the versatile method of impregnation was chosen. At macroscopic scale, impregnation of inert particulate resin is a common way to functionalize stationary phases used for separation or pre-concentration of chemical elements. Unfortunately, this protocol is not compatible with an implementation in microsystem because of contraction of monolith in dry environment and difficulties to dry the whole stationary phase in the channel.

Wet impregnation protocols were then developed for elemental separation purposes. In all cases the molecule of interest was dissolved in an organic solvent but experiments carried out during the PhD showed that this step avoids any extractant fixation, because it is eluted through the washing aqueous mobile phase. Wet impregnation was tested to functionalize the monolith in microsystem by tributyl phosphate (TBP) without the drying step but no extractant was found on the monolith surface.

Then, an innovative impregnation methodology was developed in microsystem for the polymethacrylate monolith [6]. The feasibility was first demonstrated with tributyl phosphate (TBP), a model extractant of the fuel cycle, then for two additional extractants of interest in the nuclear field (the diamyl amylophosphonate (DAAP) and a TBP/CMPO mixture).

The effective impregnation of the stationary phase was checked by Fourier transform infrared spectroscopy with attenuated total reflectance measurements. The functionalization is both adaptable and robust 24 h in  $[\text{HNO}_3] = 8 \text{ M}$ . The exchange capacities obtained are of the order of 150 mgU/g of monolith for TBP and up to 280 mgU/g of monolith for the DAAP in microsystem. In each case, the exchange capacity values are almost twice as high as those of the commercial equivalent chromatographic extraction columns as shown in Figure 2.

### Separation of radionuclides

To establish separation protocols of radionuclides by solid phase extraction in microsystems, affinity of the microcolumn for radionuclides was determined for each acidity. The values of the partition coefficients of the impregnated monoliths were determined for U(VI), Th(IV), Eu(III)

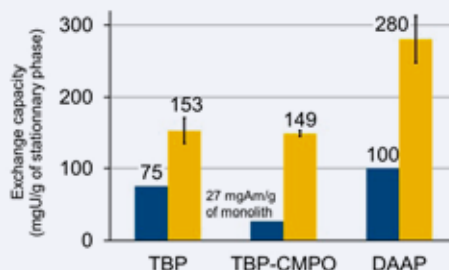


Figure 2. Comparison between commercial (blue) and this work (yellow) of the exchange capacity of the stationary phase with 3 different extractants.

and Nd(III) for the 3 extractants (as well as for Pu (IV) in the case of impregnated monoliths by TBP) and compared with commercial equivalent chromatographic extraction columns in the concentration range of 0 to 8 M nitric acid.

The realization of the impregnation at different scales has once again shown the influence of the dimensions of the microchannel on the exchange capacity. It seems that miniaturization improves the impregnation. Then, knowing the adsorption behaviour of radionuclides in nitric acid, the choice of the conditioning, loading and eluting phases was achieved. The separation of U(VI), Th(IV) and Eu(III) was then carried out using only nitric acid at different concentrations as mobile phases as shown in Figure 3.

The reduction of the quantities of radioactive samples (tens of mL) needed for the analysis of radionuclides is a major objective. In this context, an innovative alternative to the use of solid-phase extraction columns in radionuclides separation protocols in concentrated nitric medium was proposed and realized. Two prototype microsystems, functionalized by TBP, were developed and tested to separate the elements Eu, Th, and U in concentrated nitric acid medium (0.1-5 M):

- a microsystem can be used in conjunction with a measurement technique (column volume = 36  $\mu\text{L}$ ),

## ENS High Scientific Council PhD Award

The European Nuclear Society (ENS) High Scientific Council (HSC) gives out an annual award to recognize an outstanding PhD thesis. The ENS High Scientific Council values excellence, innovation, and originality in scientific research in the field of Nuclear Science and Engineering and selects the best candidate based on these values.

For this PhD award, each national nuclear society nominates one candidate. Since many national societies already offer national PhD Awards, the idea is to

add value to those awards by allowing the winner to participate in a European-wide competition.

The candidates are evaluated by the HSC in a two-stage process. In the preliminary stage, candidates are evaluated based on their dissertation, papers, and recommendation letters according to HSC evaluation criteria. Finalists are then invited for a personal presentation in front of the HSC, which entails a presentation followed by a Q&A session. The winner is selected based on both the preliminary

evaluation and the presentation. He or she is offered a publication in the Open Access Journal EPJ-N and also receives prize money of 2000 €.

For the year 2019 the HSC decided unanimously to award Dr Marion Losno for her excellent performance and innovative approach during the PhD work. Dr Anna Michaelidesova, who was recognized as the second-best candidate, was in addition awarded a special mention from the HSC.

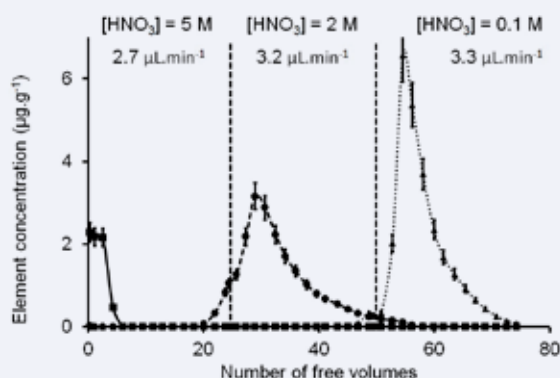


Figure 3. Separation of Eu(III) (squares, solid line), Th(IV) (dots, dashed line) and U(VI) (triangle, dotted line) in TBP impregnated P1 microsystem. Vertical dashed lines show a change of nitric acid concentration of the mobile phase.

- a centrifugal microsystem is adapted to the parallelization and automation of separations on a platform of the lab-on-a-disk type (column volume = 12.5  $\mu\text{L}$ ).

This innovative development shows performance comparable to those of conventional methods of separation on resin with a reduction of the samples volume by a factor up to 300 while the quality of the separation is maintained. The ability of the polymer to resist to concentrated nitric acid, a corrosive medium but necessary to keep the

radionuclides in solution, is no more a technological lock. Moreover, in order to adjust the microcolumn to other separations of interests, both the stationary phase and the functionalization are customizable.

### Scientific context of the PhD work and its industrialization

This study constitutes an original development issued from the union of analytical chemistry, radiochemistry, microfluidics and inspired by “omics” technologies. The overall development of the stationary phase as described in the microsystem has been enhanced by the publication of 2 international patents [1, 6], 5 peer-reviewed papers [2, 3, 4, 5 and 7] and 2 presentations at an international level. The PhD work was highlighted in 2018 by the Jean Bourgeois award attributed by the French Society of Nuclear Energy (SFEN).

This PhD work was carried out at the Laboratory of Analytical, nuclear, isotopic and elemental separations (LANIE) of CEA Saclay in partnership with the MMBM team (Macromolecules and Microsystems in Biology and Medicine) of the Institut Curie at IPGG (Pierre-Gilles Institute of Gennes).

The PhD work showed interesting results that could have an impact in terms of effluents generation and integrated dose for the operators thanks to the lower volumes needed. The reduction of the volume by a factor 100 or 300 could be of great interest for industrial application in the laboratory. This is the reason why the developed system could be used at an industrial scale in nuclear laboratories in case of confirmation of the encouraging results of the PhD.

*Thesis article: PhD thesis, Development of a separative microsystem for radionuclides analysis in nitric acid media on organic monolith, defended on November 23rd 2017, CEA, Université Paris-Saclay*

### References

- [1] WO2019008278A1 patent, January 2019, M. Losno, C. Mariet
- [2] Losno, M. et al (2016), *Micromachines*, 7(3), 45.
- [3] Losno, M. et al (2016), *Procedia Chemistry*, 21, 446-452.
- [4] Losno, M. et al (2018), *Reactive and fonctionnal polymers*, 127, 48-54.
- [5] Losno, M. et al (2018), *Talanta*, 185, 586-591.
- [6] WO2018197789A1 patent, November 2018, M. Losno, C. Mariet, R. Brennetot
- [7] Mariet C., Losno M. et al (2019), *Micro an Nano Engineering*, 3, 7-14.

### Writer



**Dr. Marion Losno**  
Materials engineer  
Orano Projects  
marion.losno@gmail.com

# Väitös: Activity Characterization Studies in the FiR 1 TRIGA Research Reactor Decommissioning Project

Antti Rätty  
Teknologian tutkimuskeskus VTT

Artikkeleihin [1–4] perustuvassa väitöskirjassa kuvataan vuosina 1962–2015 toimineen FiR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoistohankkeessa tehtyä aktiivisuuskarakterisointitutkimusta. Käytöstäpoistoprojektin varhaisessa vaiheessa aktiivisuuskarakterisointia tehtiin rakenteita rikkomattomalla laskennallisella menetelmällä ja laitoksen turvallisuuskriittisyydeltään vähäisistä rakenteista kerättyjä näytteitä analysoimalla. Reaktorin rakenteiden aktivoituminen laskettiin mallintamalla MCNP-ohjelmalla neutronivoiden suuruus ja spektri eri rakenteissa. Tieto yhdistettiin laitoksen käyttöhistoriaan ja rakennemateriaalien aktivoituvien nuklidien pitoisuuksiin ORIGEN-S-pistekinetiikkaohjelmalla. Kerätyistä materiaalinäytteistä tehdyt mittaukset tukivat laskennan tuloksia ja osoittivat lähtötiedoissa tehdyt oletukset konservatiivisiksi.

The thesis consists of the activity characterization work carried out in the decommissioning project of the FiR 1 TRIGA research reactor that has been in operation in 1962–2015. The thesis is based on four reviewed articles [1–4]. In the early phase of a decommissioning project characterization is performed with non-destructive computational methods and by studying material samples collected from low-active outer parts of a reactor. Activated construction materials were studied by calculating the neutron fluxes in reactor structures using MCNP code. This data was combined with reactor operation history and material-specific activating impurity concentrations with ORIGEN-S code. Measurements of active samples supported the calculated results and indicated that the initial assumptions were conservative as intended.

Aktiivisuuskarakterisointi on laskennallisen mallintamisen ja mittausten yhdistelmä, koska tyypillisesti laskenta vaatii lähtötiedoiksi mittausdataa ja toisaalta laskentatulokset pitää validoida näytemittauksin.

Reaktorin rakenteiden aktivoituminen mallinnettiin laskemalla Monte Carlo -pohjaisella MCNP-ohjelmalla neutronivoiden suuruus ja spektri eri rakenteissa. Tieto yhdistettiin laitoksen käyttöhistoriaan ja aktivoituvien epäpuhtauksien pitoisuuksiin ORIGEN-S-pistekinetiikkaohjelmalla. Reaktorin historiassa tehdyt rakenteelliset muutokset huomioitiin rakentamalla kustakin historianjaksosta erillinen MCNP-malli ja yhdistämällä näistä saadut neutronivuot käyttökirjanpidon mukaisiin tunteihin ORIGEN-S-mallissa. Menetelmä on havainnollistettu kuvassa 1.

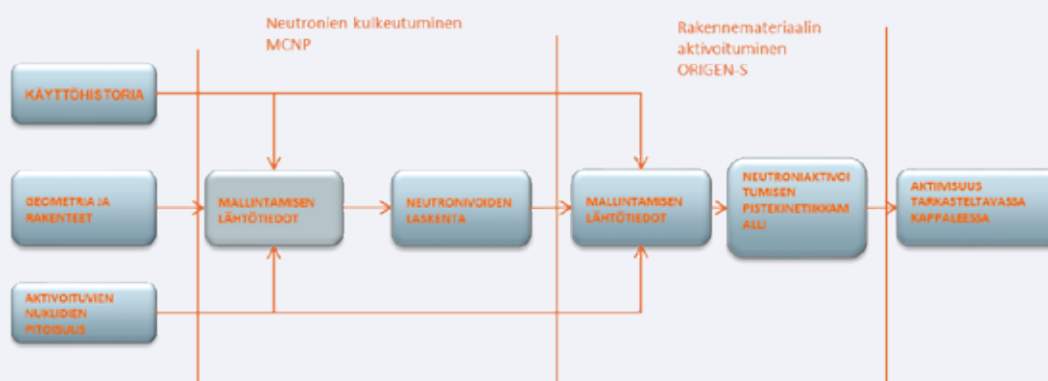
Materiaalien aktiivisuus jakaantuu helposti mitattaviin gamma-aktiivisiin avainnuklideihin ja työläämpiä mittausten menetelmiä vaativiin vaikeasti mitattaviin nuklideihin (difficult-to-measure, DTM). FiR 1 -käytöstäpoistoprojektissa on sovellettu skaalausmatriisimenettelyä, jossa radionuklidien määrien suhteet määritetään materiaaliikohtaisesti ennen purkua pienistä materiaalinäytteistä. Koska purun aikana nuklidivektorin voi olettaa säi-

lyvän (aikakorjattuna) suunnilleen samana, nuklidikohtainen aktiivisuus voidaan määrittää pelkistä mitatuista gamma-aktiivisista nuklideista soveltaen DTM-nuklidien osalta aiemmista näytemittauksista saatua tietoa. Menetelmä on havainnollistettu kuvassa 2.

## Materiaaliikohtaisia tuloksia

Väitöstyön aikana reaktorin polttoaine on ollut yhä reaktoritankissa, minkä vuoksi erityisesti sydänalueen komponenteista ei ole pystynyt irrottamaan näytteitä. Tämän vuoksi tutkitut aktivoituneet näytteet kerättiin pääosin reaktorin matala-aktiivisista ja reunaosista. Joitain materiaaleja on myös tutkittu erillisillä referenssinäytteillä soveltaen konservatiivisia lähtöoletuksia.

Väitöskirjajulkaisuissa karakterisoinnin tuloksia käsitellään lähinnä materiaaliikohtaisesti ja joidenkin tärkeimpien komponenttien osalta. Komponenttiikohtaiset tulokset on jätetty käytöstäpoistoprojektin sisäiseen käyttöön.



Kuva 1: Sovellettu laskentajärjestelmä.

Reaktorin biologisen suojan osalta materiaalin tarkka koostumus mitattiin lähtötiedoksi aktivoitumislaskuihin. Laskuissa aktiivisuudet mallinnettiin pistekohtaisesti eri puolilta biologista suojaa (kuva 3). Tuloksena määriteltiin raja, jonka sisällä laskennalliset aktiivisuudet ylittävät valvonnasta vapautuksen rajan. Lisäksi tuloksia validoitiin mitaamalla reaktorista aiemmin irrotettuja betonikairasydämiä.

Alumiinitankkia tutkittiin referenssinäytteillä, joiden tarkka koostumus mitattiin. Lisäksi näytteitä aktivoitiin reaktorissa ennen lopullista sammutusta. Sydämessä olevien teräsrakenteiden epäpuhtauksien arvioinnissa käytettiin konservatiivisia oletuksia rakennusaikaisista materiaalispesifikaatioista. Lisäksi tuloksia verrattiin ulkomailla aiemmin purettujen TRIGA-reaktorien mitattuihin arvoihin [5,6].

Grafiittinäytteitä kerättiin reaktorista aiemmin puretusta termisestä patsaasta. Näytteistä mitattiin massaspektrometrisesti materiaalin alkuperäinen koostumus. Lisäksi gammaspektrometristen ja radiokemiallisten mittausten avulla määriteltiin aktiivisen grafiitin nuklidivektori.

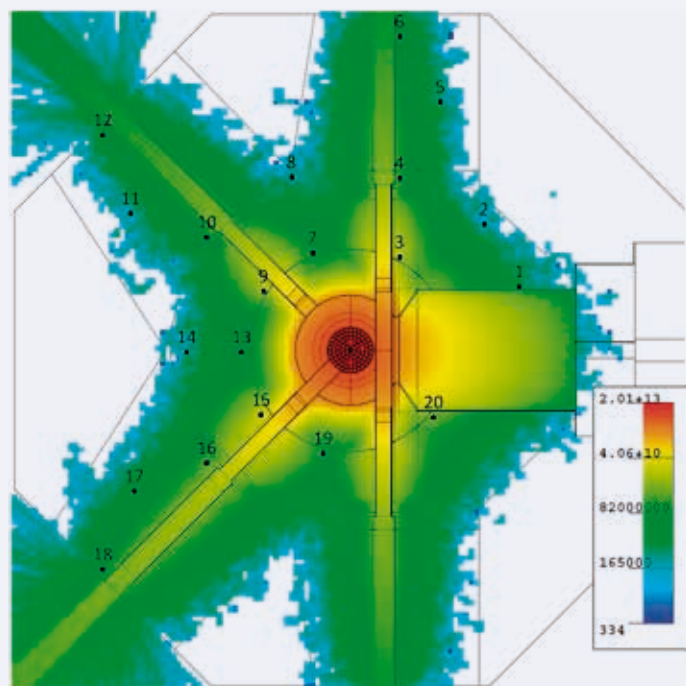
BNCT-aseman rakenteista (kuva 4) väitöstyössä tehtyjen näytemittausten avulla pystyttiin luokittelemaan osa rakenteista todennäköisesti valvonnasta vapautettaviksi. Huomattavan aktiivista Fluental-neutronihidastinmateriaalia tutkittiin myös romanialaisen IFIN-HH-instituutin kanssa mittaamalla säteilytettyjen näytteiden kokonaisaktiivisuus ja tritiumin vapautuminen väliaineesta pitkän aikavälin mitauskampanjalla.

## Käytetty ydinpolttoaine

TRIGA-tutkimusreaktorien polttoaineessa uraani on noin 70 cm pitkissä sauvoissa zirkoniumhydridi-seoksena, jolloin neutronien terminen takaisinkytkentä tehon noustessa on erittäin nopea. Tämän vuoksi TRIGA-reaktoreja voidaan ajaa myös pulssityyppisesti. Viimeisin käytössä ollut polttoainelataus on esitetty kuvassa 5.

Polttoainelatauksen inventaareja laskettiin kahdella eri tavalla. Reaktorista tehtiin sauvakohtainen malli Serpent-laskentaohjelmalla, ja lisäksi tuloksia vertailtiin aiempaan deterministiseen malliin, jossa geometria oli käsitelty vain sauvatyypikohtaisesti.

Koska tutkimusreaktoreja käytetään normaalisti vain muutamia tunteja kerrallaan, käytön aikana FIR 1:n historiassa on ollut tuhansia

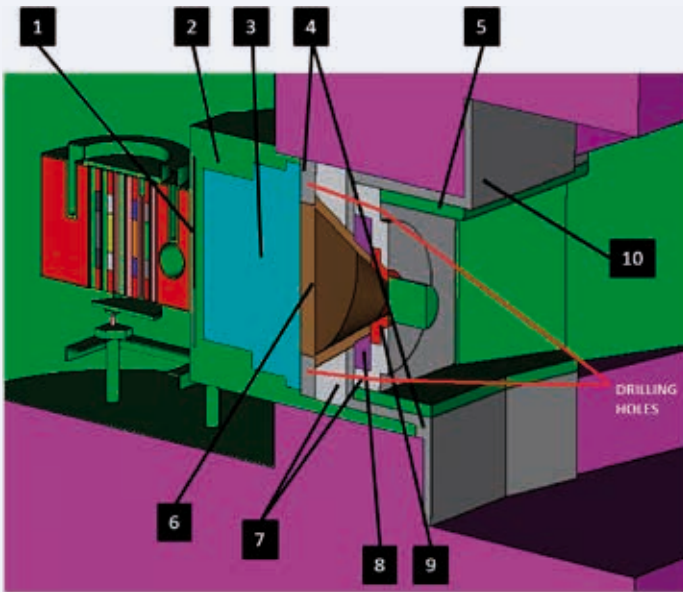


Kuva 3: Laskennalliset neutronivuot reaktorin rakenteissa.



Kuva 2: Aktiivisuusmittausten skaalausmatriisimenetelmä.





Kuva 4: BNCT-aseman rakenteiden näytteenporauspaikkoja. Kuvassa numeroidut materiaalit: 1) boraalilevy, 2) alumiinia, 3) Fludent-hidastinaine, 4) lyijyvuoraus, 5) litiumkarbonaattirikasteisia suojamuoveja, 6) vismuttilevy ja -kartio, 7) NatLi-RX215-suojamuovit, 8) Li 3,5%-rikasteinen RX215-suojamuovi, 9) Li 7%-rikasteinen muovinen kollimaattori, 10) lyijyvuorauksen teräksiset peitelevyt [2].

käynnistyksiä ja sammutuksia. Tämä tekee käyttöhistorian laskennallisen mallintamisen haastavaksi, koska Monte Carlo -ohjelmissa jokaisen käynnistyksen yhteydessä tehtävä neutroniikan laskenta on hidasta. Serpent-mallissa otettiin huomioon kaikki historian aikana toteutetut 46 latausmuutosta, mutta käyttötuntien osalta haettiin yksinkertaistava oletus iteratiivisella prosessilla, jossa lisättiin yksityiskohtaisuuden tasoa viimeisinä käyttövuosina tarkastellen syntyneiden lyhytikäisempien nuklidien aktiivisuuksia. Deterministiseen malliin

verrattuna suurimman aktiivisuuden tuottavissa nuklideissa erot olivat pieniä, mutta joissain lyhytikäisten metastabiilien tilojen nuklideissa oli suuriakin eroja.

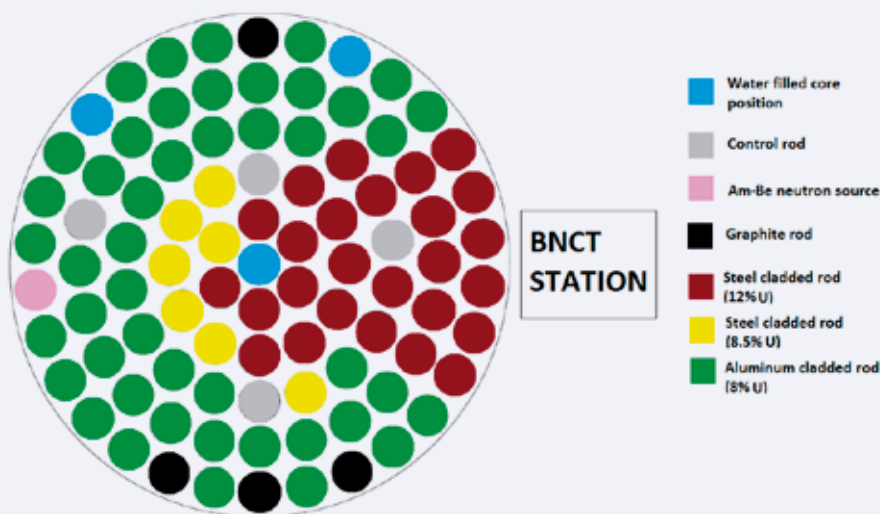
Lopuksi käyttämällä sauvakohtaisia inventaareja laskettiin kunakin sauvan suora annosnopeus veden alla. Tuloksia verrattiin Idaho National Laboratoryn aiemmin tekemiin sauvakohtaisiin annosnopeusmittauksiin.

### Tulosten soveltaminen käytöstäpoistoprojektissa

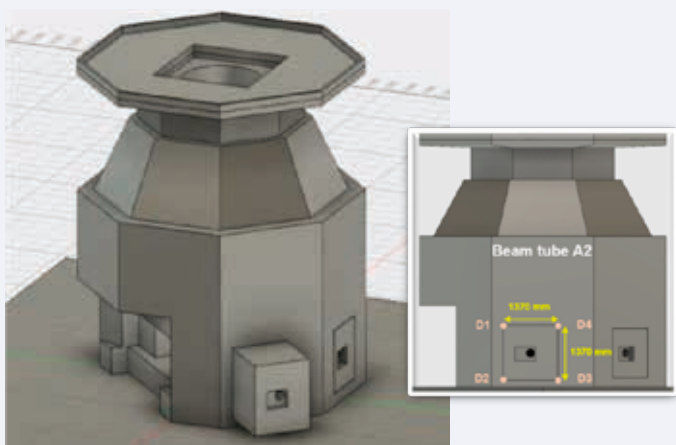
Reaktorin tekninen purku toteutetaan kahdessa vaiheessa poistaen ensin reaktoritankin sisällä olevat kaikkein aktiivisimmat sydänkomponentit ja jatkaen sen jälkeen vähemmän aktiivisen biologisen suojan aktivoituneen betonin poistoon. Väitöstyön tulosten avulla voidaan suunnitella luokittelu ja pakkaustapa tankin sisäisille komponenteille. Biologisen suojan betonin osalta taas määritetyn aktivoituneen alueen rajan avulla TRIGA-reaktorin rakenteeseen kuuluvat vaakasuorat neutronisuihkuputket voidaan irrottaa vajerisahaamalla aktiivinen kappale irti putken ympäriltä (kuva 6).

Purun aikana irrotettavien aktiivisten komponenttien käsittely aiheuttaa suoraa säteilyannosta purkuhenkilökunnalle. Alustavassa purkusuunnittelussa on testattu laskennallisesti erilaisia pakkaamisen ja jätevarastoinnin vaihtoehtoja soveltaen väitöstyössä laskettuja mitattuja ja nuklidikohtaisia jäteinventaareja. Aiheetta on käsitelty myös vuonna 2018 julkaistussa diplomityössä [7], joka soveltaa suoraan väitöstutkimuksen tuloksia. Kuvassa 7 on yhden suunnitelmakonseptin mukaisesti laskettuja annosnopeuksia reaktorihallin sisällä ja ulkoseinien välittömässä läheisyydessä.

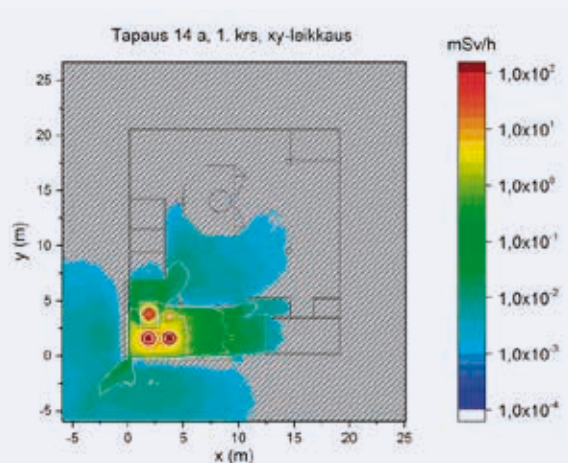
Matala- ja keskiaktiiviset purkujätteet loppusijoitetaan Loviisan voimalaitoksen matala- ja keskiaktiivisen jätteen luolaan. FiR 1 -reaktorin jätteiden kokonaisaktiivisuus on vähäinen verrattuna Loviisan reaktorien omiin purkujätteisiin, mutta koska FiR 1:n purkujätteissä on voimalaitoksista poikkeavia materiaaleja kuten grafiittia ja alumiinia, jätteen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta tulee tarkastella erikseen. Väitöstyössä laskettuja ja mitattuja nuklidikohtaisia aktiivisuusmääriä on sovellettu konservatiivisesti arvioituna Fortumin tekemissä analyyseissä loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuudesta. Aiheesta on kirjoitettu myös opinnäytetyö, joka on esitelty ATS Ydintekniikan numerossa 1/2020 [8].



Kuva 5: Viimeinen käytössä ollut FiR 1 -reaktorin sydänkonfiguraatio [3].



Kuva 6: Neutronisuihkuputkien leikkaussuunnitelma (kuva: Babcock Noell GmbH).



Kuva 7: Reaktorihallissa varastoiduista purkujätteistä aiheutuvia laskennallisia annosnopeuksia [7].

Väitöskirja "Activity Characterization Studies in the FiR 1 TRIGA Research Reactor Decommissioning Project" on tarkastettu Helsingin yliopistossa 7.8.2020. Vastaväittäjänä toimi associate professor (Dr.) Luka Snoj Jožef Stefan -instituutista (Ljubljana, Slovenia) ja

kustoksena toimi professori Jyrki Räisänen Helsingin yliopistosta. Väitöskirja on saatavilla sähköisessä muodossa osoitteessa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/314805>

## Viitteet

- [1] A. Rätty and P. Kotiluoto, FiR 1 TRIGA Activity Inventories for Decommissioning Planning, Nuclear Technology, Volume 194, Issue 1, April 2016
- [2] A. Rätty, T. Kekki, M. Tanhua-Tyrkkö, T. Lavonen, E. Myllykylä, Preliminary Waste Characterisation Measurements in FiR 1 TRIGA Research Reactor Decommissioning Project, Nuclear Technology, Volume 203, Issue 2, August 2018
- [3] A. Rätty, S. Häkkinen and P. Kotiluoto, Nuclide Inventory of FiR 1 TRIGA research reactor fuel, Annals of Nuclear Energy, Volume 141, 2020
- [4] A. Rätty, T. Lavonen, A. Leskinen, J. Likonen, C. Postolache, V. Fugaru, G. Bubueanu, C. Lungu and A. Bucsa, Characterization measurements of flue gas and graphite in FiR 1 TRIGA research reactor decommissioning waste, Nuclear Engineering and Design, Volume 353, November 2019
- [5] G. Hampel et al. - Calculation of the Activity Inventory for the TRIGA Reactor at the Medical University of Hannover (MHH) in Preparation for Dismantling the Facility. In proceedings of WM'02 Conference, Tucson, USA, 2002
- [6] S.K. Park et al. - Korea Research Reactor – 1 & 2 Decommissioning Project in Korea. In proceedings of WM'03 Conference, Tucson, USA, 2003
- [7] A. Haapamäki - Säteilysuojelu ydinlaitoksen käytöstäpoistossa: Case FiR 1. Master's Thesis, Lappeenranta University of Technology, 2018
- [8] J. Pitkäoja, Long-term safety assessment for disposal of VTT's decommissioning wastes in Loviisa LILW repository, MSc. thesis, University of Jyväskylä, 2019

## Kirjoittaja



**FT Antti Rätty**

Tutkija

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
antti.ratty@vtt.fi

# Viimeinen sammuttaa valot

**VIIMEISIÄ EUROOPAN HISTORIAA HÄPÄISEVIÄ** orjuuden jäänteitä kitketään ja pahimpien tyrannien patsaat kaatuvat. Samaan aikaan Suomen omistajaohjaus vie yhteistä laivaamme kohti tytäryhtiötaloutta ja siihen yksinkertaisen kansan tulisi monen Brysseliin tähtävän johtajamme mielestä tyytyä – sanoohan kansallislaulumme: ”On maamme köyhä, siksi jää, jos kultaa kaivannet”.

Tytäryhtiötalous syntyy yhtiön hallituksen ja johdon arvioilla, ja heidän henkilökohtaisilla intresseillään. Ajava voima voi olla: ”äkkiä rahat pois optioilla ja konsulttipalkkioin, kun päästiin pörssiin ja yhtiön tiedot eivät vielä ole julkisia ja alttiina kilpailulle”. Pääomat yhtiössä on usein luotu valtion rahoittamalla, pitkällä aikajänteellä kehitetyllä teknologialla ja osaamisella. Sonera, Rautaruukki ja Neles, aiemmin monet muut kuten vaikka Fortum, on viety laajaan ulkomaiseen omistukseen.

Yleensä haaskalinnut saapuvat, kun yhtiö viedään pörssiin tai valtionyhtiön omistusta laajennetaan ja suuri valtio-omistaja lähettää hallitukseen ansioituneen virkamiehen, joka ei ymmärrä toimialasta ja tuotteiden hyväksi tehdystä tutkimuksesta yhtään mitään. Johtoon nostetaan kaveripohjalta tuttuja ammattijohtajia ilman toimialaosamista.

Tutkimus- ja kehitystyön linjaukset ja alan tuotemahdollisuudet tunteva ulkomainen kilpailija näkee tilaisuuden tulleen. Ostotarjous tehdään ja yrityksen hallitus tukee sitä vastuullisen valtion edustajan tuella. Yhtiön hallitus antaa aina lausuntoja, joissa korostetaan ostajan tuomia mahdollisuuksia. Yleensä hallitus ei tee tulevaisuuden vaihtoehtojen vertailua. Kehityslinja, jossa jo maailman markkinoille päässyt yhtiö jatkaisi itsenäisenä, investointeja tehtäisiin ja yritys nousisi Nokia-tyyliin maailman huipuksi, ei ole edes vaihtoehto.

Usein joku vanhahko asiantuntija tai osaomistaja vastustaa koko yrityksen tai sen osan, yrityksen omaan tutkimukseen perustuneen teknologiatytäryhtiön myyntiä esitetyllä hinnalla. Tarinat kertovat erään yrityksen hallituksessa todetun säälivästi: ”Eivät ymmärrä kehitystä!” Toisen yrityksen hallituksessa ihmeteltiin porukalla juuri myytyä, pientä tytär-

yhtiötä: ”Mitä ihmettä tuokin pikku rönsy on vuosia tehnyt?”

Työnsä markkinointiin tottumaton huippuasiantuntija ja yritysjohto eivät aina löydä yhteistä kieltä, vaikka äidinkieli ja kulttuuripohja ovat yhteisiä. On hämmästyttävää, kuinka usein toimialan todellista ansaintalogiikkaa ja teknistieteellistä pohjaa ymmärtämätön johto ei kuuntele tai halua kuunnella huippuasiantuntijoitaan.

Tieteellisten konferenssien illallisten jatkoilla turhautumistaan virvokkeilla huuhtoneilta avainasiantuntijoilta saatu, vuosikymmenien tieteelliseltä pohjalta kumpuava tieto on monen konferenssin paras anti. Kokouksen kosteet jatkot saattavat antaa parhaat vinkit, mitä alalla oikeasti tulee tapahtumaan. Monet suomalaiset yritykset karsivat johdon ja asiantuntijoidensa osallistumista illanistujaisiin, vaikka niiltä saatu hyöty voisi joskus olla suuri.

Maamme 1990-luvun lopulla ulkomaisille omistajille siirtyneet pörssiyritykset olivat tutkimusten mukaan kasvavia ja hyvin kannattavia yrityksiä vahvalla taseella, ja usein osaamattomalla ja laiskalla valtio-omistuksella. Yritysten sisällä piillyttä, unohdettua tuotepotentiaalia voimme vain arvailla. Omistajalle osakkeista tarjottu hinta oli usein kohtuullinen.

Joskus ulkomaiset ostajat laajensivat heti yrityskaupan jälkeen ostamansa yhtiön toimintaa Suomessa ja tuotteistivat tutkimuspätkökset, mutta lopettivat uuden tutkimuksen. Näin saatiin hyödyt nopeasti ulos. Valtiokin sai verorahaa lyhyellä aikajänteellä, mutta myöhemmin yhtiöstä ulosmitatut synergiaedut, eli yhteiskunnan tukiverkkoihin pudonneet irtisanotut, kompensoivat tuon edun.

Yritysten yhdistyminen johtaa usein Suomessa kehitettyjen tuotteiden ja tuoteaihioiden romutukseen; niiden tilalla valmistetaan muita tuotteita. Yritykseen tulee ulkomailta tai vähintään länsinaapurissa oppinsa saaneet johtajat, ja pikkuhiljaa vuosikymmeniä kasvatettu osaaminen muuttuu muualla kehitetyn kopioinniksi. Kopeileva, muutokankea tai päättämätön ulkomailta tullut johto joutuu pian törmäykseen.

Suomalaiset ovat tottuneet ”vänrikki Koskela”-tyyppiseen virallisuutta ja muodollisuutta kaihtavaan, mutta päättäväiseen johtamiseen.

Synergiaa puretaan lisää ja suomalaiset tutkimusosaajat saavat kenkää. Pörssiin saadaan parhaat seurantaluvut. Mutta yhtiössä on jäljellä vain rahaa: aiempien innovaatioiden lisenssituotot, tehtyjen kauppojen kassavirrat ja täysi kassa omien osakkeiden ostoon sekä osakekurssipalkittu yritysjohto. Ilman ulkomaista ohjaustakin osataan! Jos johdon lisäpalkkio sidotaan neljännesvuoden tuoton ja yrityksen omaisuuden suhteeseen, on johdolla suuri kiusaus leikata kustannukset ja samalla tuotteen laatu nolllille. Toinen mahdollisuus on muuttaa yritysomaisuus tuotoksi, kuitata palkkio ja häipyä. Luulisi edes vakuutusyhtiöomistajan ymmärtävän pitkän ja lyhyen aikavälin voittoon tähtävän yritystoiminnan erot – pankkitoiminnan roolimallihan on punaiset aatelishousut ja lyhyen syklin johtaminen.

Liian ylös noussut Nokia joutui kilpailijoidensa ovelan juonien uhriksi. Juonittelun onnistumisen mahdollisti yrityksen suomalaiset ominaisuudet: strategiamallien sinisilmäisyys ja johdon itsevarmuuden puute. Sama ilmiö esti vuosia maajoukkueemme voitot joukkuelajejissa. Kentällä oli aina joku jolla ajatuksissa pyöri: ”Nyt me johdamme ottelua, mutta ei me kuitenkaan voiteta”.

Yksinäiseltä mäkihyppääjältä tai keihäänheittäjältä tuo tappioajatus on usein onneksi pudonnut muutamaksi sekunniksi, yleisön pauhatessa ja tuulen vinkuessa korvissa tai ristiaskelien tömistessä alla. Suomen menestynein mäkihyppääjä uskoi ennen kisaa mahdollisuutensa voittoon olevan aina samat kuin vastustajilla eli vähintään ”fifty-sixty”. Suomalainen yritysjohtaja uskoo usein tuotteensa vientimahdollisuuksien olevan pyöreä nolla. Saatiinhan Euroviisuissakin usein vain nolla – ”Finland, zero points” – taas se nähtiin, emme osaa maailmalla.

Nokian romahduksen syyt eivät monet halua uskoa, vaan asiaa selitetään suomalaisittain: ”Ei me olisi kuitenkaan pärjätty, käytöjärjestelmäkkin oli huono”. Huonosti kävi yritysmaailmamme timantille, vaikka se oli jo haalinut maailmalta valtavan joukon nuoria kykyjä, jotka uskoivat innovatiiviseen Suomeen. Nokian johdon nauttiessa menestyksestä yhtiöön tuotettiin poliittisista taustajoukoista tuttuja, mukavia kavereita.

Pahimmalta kilpailijalta saatiin toimitusjohtaja, joka osasi vahvistaa koko henkilöstölle sen, minkä suomalainen on jo lapsena oppinut: olemme huonompia kuin kilpailijamme. Floppi tästä tulee ja yhtiölauttamme on



jo tulessa. Yrityksen hallituksen olisi pitänyt välttää ansa ja valita toisin. Menestyäkseen suomalainen yritys tarvitsee jääkiekon maailmanmestaruudesta 1990-luvulta tutun konseptin: johtoon alan kiemurat osaava ja todella ahkera johtaja eli yritysmaailman ”Koivu” ja hallitukseen istutetaan uskoa onnistumiseen. Hallitukseen tarvitaan aina oikeita toimialan osaajia, mutta niitä, joilla ei ole äidinmaidossa imettyä uskoa tappioon jo ennen aloitusta.

Nykymaailmassa taito käsitellä monenlaisia asiakkaita ja kyky myydä ulkoista olemus-

taan sosiaalisessa mediassa vievät nuoren miehen ja naisen johtajaksi tai ministeriksi. Vanhoissa ammatinvalinnoissa vastaavat taidot takasivat menestyksen ihan muilla aloilla. Kriisin tullessa tai viruksen tarttuessa maamme johtajat hakevat nopeaa apua Kiinasta tai Brysselistä. Tietoa taloudesta tai vaikka luotettava kasvomaskien valmistaja voisi löytyä ihan kotimaasta.

Toiminta lähialueilla ja Suomen yritysmaailmassa muistuttaa joskus brittikilpailun voittoa tarinaa. Kaksi metsästäjää kulkee metsässä, kun toinen yhtäkkiä kaatuu maahan ja

vaikuttaa hengettömältä. Toinen metsästäjä soittaa hätänumeroon.

– Hätäkeskus! Miten voin auttaa?

– Ystäväni on kuollut! Mitä teen?

– Rauhoittukaa ja seuratkaa tarkoin ohjeitani. No niin, hyvä! Varmistakaa, että hän todella on kuollut!

Hetken hiljaisuuden jälkeen kuuluu laukaus ja metsästäjä palaa linjalle.

– Selvä, mitä teen sitten?

### Ydininsinööri

*Syöksy alkoi – loppuuko se?*



**Palautusosoite:**

Suomen Atomiteknillinen Seura  
PL 78  
02151 ESPOO

**Osoitteenmuutokset:**

sihteeri@ats-fns.fi



---

**KANNATUSJÄSENET**

---

**A-Insinöörit Civil Oy**

**Pohjoismainen  
Ydinvaruutuspooli**

**TVO Nuclear Services Oy**

**Fennovoima Oy**

**Pohjolan Voima Oyj**

**Voimaosakeyhtiö SF Oy**

**FinNuclear ry**

**Posiva Oy**

**Westinghouse**

**Fortum Power  
and Heat Oy**

**Teknologian  
tutkimuskeskus VTT Oy**

**Platom Oy**

**Teollisuuden Voima Oyj**