

# ATS YDINTEKNIikka

1/2025

Vol. 54

## TRIGA ON NYT PURETTU

Suomen ensimmäinen ydinreaktori FIR 1 on poistettu käytöstä. Otaniemen purkuprojektista pyrittiin ottamaan kaikki opit talteen.

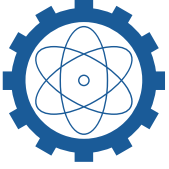
## KALLIOMURTUMIEN KARAKTERISOINTI

Kallio toimii ydinjätteiden leviämiseen, joten sen murtumien ominaisuuksien tutkimiseen on tärkeää kehittää luotettavia menetelmiä kuten fotogrammetriaa.

## JHR:N RAKENTAMINEN ETENEE

Materiaalien tutkimusreaktori JHR on rakenteilla Cadarachesa. Rakennushankkeen suomalaisuus on valmistunut, joten on aika alkaa suunnitella opeointia ja koetarpeita.





# ATS YDINTEKNIikka

## Julkaisija / Publisher

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

[www.ats-fns.fi](http://www.ats-fns.fi)

## Johtokunta / Board

### Puheenjohtaja / President

DI Hanna Tynys

[puheenjohtaja@ats-fns.fi](mailto:puheenjohtaja@ats-fns.fi)

### Varapuheenjohtaja / Vice President

Prof., TkT Samuli Siltanen

[samuli.siltanen@helsinki.fi](mailto:samuli.siltanen@helsinki.fi)

### Sihteeri / Secretary General

FM, DI Jenna Järvenpää

[sihteeri@ats-fns.fi](mailto:sihteeri@ats-fns.fi)

### Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Elina Syrjälähti

[rahastonhoitaja@ats-fns.fi](mailto:rahastonhoitaja@ats-fns.fi)

### Jäsenet / Board Members

Dos. Taina Kurki-Suonio

[taina.kurki-suonio@aalto.fi](mailto:taina.kurki-suonio@aalto.fi)

TkT Antti Snicker

[antti.snicker@vtt.fi](mailto:antti.snicker@vtt.fi)

DI Topi Tupasela

[topi.tupasela@stuk.fi](mailto:topi.tupasela@stuk.fi)

DI Janne Valkonen

[janne.valkonen@platom.fi](mailto:janne.valkonen@platom.fi)

## Toimihenkilöt / Functionaries

### ATS Young Generation

DI Roope Lipiäinen

[roope.lipiainen@fortum.com](mailto:roope.lipiainen@fortum.com)

### Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

MSc Ana Jambrina

[ana.jambrina@vtt.fi](mailto:ana.jambrina@vtt.fi)

### Women in Nuclear Finland

FM Jenna Levo

[jenna.levo@tvo.fi](mailto:jenna.levo@tvo.fi)

### Www-vastaava / Webmaster

DI Teemu Sällylä

[webmaster@ats-fns.fi](mailto:webmaster@ats-fns.fi)

### ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkT Riitta Kyrki-Rajamäki

[rkyrki@gmail.com](mailto:rkyrki@gmail.com)

## Toimitus / Editors

### Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

TkT Jarmo Ala-Heikkilä

[jarmo.ala-heikkila@aalto.fi](mailto:jarmo.ala-heikkila@aalto.fi)

### Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

FT Antti Rätty

[antti.ratty@vtt.fi](mailto:antti.ratty@vtt.fi)

### Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

DI Tapani Raunio

[tapani.e.raunio@fortum.com](mailto:tapani.e.raunio@fortum.com)

### Ulkoasu ja taitto / Layout

Katariina Korhonen, Creatus

[katariina@creatus.fi](mailto:katariina@creatus.fi)

### Toimitus / Editorial Staff

FM Sophie Haapalehto

[sophie.haapalehto@posiva.fi](mailto:sophie.haapalehto@posiva.fi)

DI Klaus Kilpi

[klaus.kilpi@gmail.com](mailto:klaus.kilpi@gmail.com)

DI Unna Lauranto

[unna.lauranto@vtt.fi](mailto:unna.lauranto@vtt.fi)

TkT Henri Loukusa

[henri.loukusa@gmail.com](mailto:henri.loukusa@gmail.com)

DI Aleksi Savolainen

[aleksi.savolainen@tvo.fi](mailto:aleksi.savolainen@tvo.fi)

FT Mervi Söderlund

[mervi.soderlund@fortum.com](mailto:mervi.soderlund@fortum.com)

## TOIMITUKSEN YHTEYSTIEDOT

### ATS Ydintekniikka

c/o Jarmo Ala-Heikkilä

PL 15600

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 yhdysiteenä jäsentensä kesken kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi sekä vaihtaa tietoja ja kokemuksia kansainvälisellä tasolla. ATS on Tieteellisten seurain valtuuskunnan jäsenseura.

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

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



## JOTAIN VANHAA, JOTAIN UUTTA – SEKÄ LAINATTUA JA SINISTÄ

**K**uten tarkkaavainen lukija voi tämän palstan kirjoittajatieoista havaita, vanha päätoimittaja jatkaa lehden ruorissa. Tervetullutta vaihtelua ei siis vielä tässä vaiheessa saatu, mutta uuden päätoimittajan haku on edelleen käynnissä. Uusin vuoden takaisen tarjoukseni jäsenistölle: kannattaa tulla mukaan ATS-lehden toimitukseen, niin voi tunnustella olisiko päätoimittajan tehtävä sopivan haastava.

Toisaalta tarkkaavainen lukija huomaa, että lehden ulkoasu on kevyesti päivitetty vuoden vaihteessa. Edellinen ulkoasu oli käytössä kymmenen vuotta ja se todettiin melkoisen toimivaksi. Täittäjällä oli kuitenkin kehitysajatuksia, joista suurin osa päätettiin testauksen jälkeen ottaa käyttöön. Otamme mielellään vastaan palautetta uudesta layoutista, yhteystiedot löytyvät tuolta vasemmalta.

Koska ATS Ydintekniikka ilmestyy neljästi vuodessa, niin emme pysty toimimaan uutislehtenä eikä se ole ollut tavoitteenakaan. Onneksi nykypäivänä on vikkelämpiäkin vaihtoehtoja tarjolla. Näistä ATS:llä ja sen toimintaryhmillä on käytössään verkkosivut ja niiden uutispalsta, uutiskirje, sähköpostilistat sekä LinkedIn-verkkoyhteisöpalvelu, joiden kaikkien seuraamista voin suositella.

Lehden tekoaikataulu on sellainen, että raportointi seuran vuosikokouksesta ja siellä tehdyt henkilövalinnat eivät useimmiten ehdi ykkösnumeroon. Niistä saatte tänäkin vuonna lukea kakkosnumerosta juhannuksen paikkeilla, mutta uteliaimmille tiedot jo löytyvät edellä mainituilta ketterämmiltä foorumeilta. Toisaalta tässä lehdessä on tarjolla raportti marraskuun lopulla pidetystä syysseminaarista.

Etenkin tähän aikaan vuodesta voi suositella käytettävän ATS:n geneerisiä sähköpostiosoitteita xxx@ats-fns.fi, jotka löytyvät lehden kakkosivulta. Nämä osoitteet siirtyvät lähes viiveettä vanhalta vastuuhenkilöltä uudelle.

Otsikoksi väännetyn vanhan häälorun kahta ensimmäistä adjektiivia on avattu yllä, mutta kahden jälkimmäisen löytäminen jätetään kotitehtäväksi.

**Jarmo Ala-Heikkilä**  
Vastaava päätoimittaja

# SISÄLTÖ

## VAKIOPALSTAT

### PÄÄTOIMITTAJALTA

Jotain vanhaa, jotain uutta – sekä lainattua ja sinistä... 3

### PÄÄKIRJOITUS

Ydinenergia ja kestävä lämmöntuotanto... 4

### EDITORIAL

Nuclear energy and sustainable heat production... 5

### KOLUMNI

Akateemikko Erkki Laurila haki rationaalista keskustelua ”asioiden todellisesta luonteesta” ydinvoima-asiassa... 40

### PAKINA

Mielenrauhaa ja toimintakykyä viestinnällä ja viestinnästä... 42

## TAPAHTUMAT

ATS:n syysseminaari 2024... 6

Ydinvoiman monet suunnat – uratarinoita ja katsaus nykytilaan... 10

## AJANKOHTAISTA

General Description of Finnish Nuclear Licensing Procedure... 12

## TIEDE JA TEKNIikka

TRIGA on nyt purettu... 16

*Markus Airila, Antti Rätty, Petri Kotiluoto, Ville Oinonen*

Säteilyturvallisempi purkutyömaa... 22

*Tommi Kekki, Maria Lindholm*

Turvallisuuskulttuurin jatkuva parantaminen FiR 1 -käytöstäpoistossa... 27

*Kaupo Viitanen, Merja Airola, Petri Kotiluoto, Markus Airila*

Jules Horowitz materiaalien tutkimusreaktori (JHR) – yhä rakenteilla... 32

*Petri Kinnunen*

Photogrammetry for characterizing rock fracture roughness, physical aperture, and hydromechanical properties... 36

*Masoud Torkan*

# YDINENERGIA JA KESTÄVÄ LÄMMÖNTUOTANTO

**Y**mpäristön kannalta hyvät uutiset ovat vähissä. Planeettamme kantokyvyn rajat ovat tulleet vastaan. Maailman keskilämpötilan nousu on vuositasolla jo ylittänyt 1,5 asteen tavoiterajan, ja luonnon monimuotoisuuden heikkeneminen jatkuu kiihtyvällä tahdilla. Näiden kaikkia vaikutuksia on vielä vaikea ennustaa. Samaan aikaan kulutus ja ihmisen luonnonvarojen käyttö eivät ole vähenemässä – päinvastoin, ne kasvavat jatkuvasti.

Lähtökohtaisesti kaikki kulutus kuormittaa ympäristöä. Vaikka sähköauto käytäisi pelkästään uusiutuvaa sähköä ja olisi valmistettu täysin kierrätettävistä materiaaleista – mitä se ei vielä ole – sen elinkaari aiheuttaa silti ympäristölle haittaa. Nettovaikutus voi toki olla juuri ja juuri positiivinen, jos se korvaa vanhan, enemmän päästöjä aiheuttavan auton. Usein kiertoaloutta pidetään ratkaisuna kulutuksen haittoihin, mutta tosiasia on, että täysin kestävä tuote on vain sellainen, joka kestää ikuisesti.

Samat lainalaisuudet pätevät energia-alaan. Sähkön kysynnän ennustetaan kasvavan huomattavasti, mutta samal-

la on tärkeää tunnistaa, että ympäristön kannalta paras tapa tuottaa energiaa on säästää sitä. Tulevaisuuden energiankulutuksen ajureiksi ennustetaan teollisuuden ja liikenteen sähköistymistä, vedyn tuotantoa ja datakeskusten lisääntymistä. On olennaista tarkastella kunkin toimenpiteen nettovaikutuksia ja pohtia, onko kaikki kulutuksen lisääminen välttämätöntä. Joissain tapauksissa tavoitellaan nimenomaan positiivisia ympäristövaikutuksia, kuten e-polttoaineissa, jotka on valmistettu vedystä ja ilmakehästä sidotusta hiilidioksidista.

Lämmityksen osalta tulevaisuus on selkeämpi. Niin kauan kuin Suomessa on asuttu, ihminen on tarvinnut energiaa asumusten lämmitykseen, ja niin tulee olemaan myös jatkossa. Siksi on olennaista tarkastella, mikä lämmöntuotantomuoto on pitkällä aikavälillä paras planeettamme kannalta.

Hukkalämpöjen hyödyntäminen on kilpailukykyinen ratkaisu, ja niiden määrä kasvaa sähkönkäytön lisääntyessä. Hukkalämpö ei kuitenkaan yksin riitä, ja tuotantovarmuuden takaamiseksi tarvi-

taan myös riippumattomia energialähteitä. Lisäksi lämmöntuotannon on oltava enustettavaa.

Tässä kisassa ydinenergia on ylivoimainen voittaja. Sen päästöt ovat minimaaliset, ja sekä raaka-aine- että pinta-alatarve ovat muihin tuotantomuotoihin nähden pienet. Nämä syyt johtivat siihen, että Helen käynnisti kesällä 2024 ydinenergiaohjelman, jonka tavoitteena on mahdollistaa Helsingissä täysin polttamaton lämmöntuotanto ennen vuotta 2040. Siihen asti lämmöntuotannossa tukeudutaan biopolttoaineisiin, sähkökattiloihin ja lämpöpumppuihin.

Haasteita ydinenergiaohjelmassa riittää. Alalla ydinenergian kilpailukykyä pyritään parantamaan modulaarisuuden, sarjavalmistuksen ja yksinkertaistettujen reaktoriratkaisujen avulla, mutta kestää vielä, ennen kuin nämä hyödyt näkyvät laitojen hinnoissa.

Laitoksen sijoittaminen lähelle kaupunkia on kaukolämmöntuotannossa taloudellisesti välttämätöntä, vaikka moni mieltää ydinvoimalat kuuluviksi kauas asutuksesta. Alan asiantuntijat tietävät, ettei kyse ole ensisijaisesti turvallisuudesta – usein energiantuotantomuotoja verrataan aiheutettujen kuolemien perusteella, ja tässä vertailussa ydinvoima suoriutuu erinomaisesti. Ihmisten kokemukset ovat kuitenkin aitoja, joten niihin pitää suhtautua vakavasti. Ja toki, SMR-huomassa ei saa myöskään tulla vauhtisoikeaksi, vaan myös SMR:ien ydinturvallisuutta on arvioitava kriittisesti.

Fysikaalisesti yhtälö on kuitenkin selkeä: Suomessa tarvitaan lämpöä, ja se kannattaa tuottaa tavalla, joka kuormittaa ympäristöä mahdollisimman vähän, eli ydinenergialla. Siksi etenemme määrätietoisesti eteenpäin. Tällä hetkellä olemme valmisteluvaiheessa, jonka aikana käynnistämme kaavaprosessit ja valitsemme pääehdokkaan laitostoimittajaksi.

Matkan varrella tulee varmasti mutkia ja haasteita – myös sellaisia, joita emme osaa ennakoida. Niihinkin voidaan varautua oikealla asenteella ja toimintavalmiudella. Tärkeintä on, että etenemme harkituin siirroin oikeaan suuntaan. Suuntaan, joka tuo myös ympäristölle hyviä uutisia.

## DI & KTM Janne Liuko

Ydinenergiaohjelmapäällikkö  
Helen Oy  
janne.liuko@helen.fi



# NUCLEAR ENERGY AND SUSTAINABLE HEAT PRODUCTION

Nowadays, positive environmental news is scarce. Our planet has already reached its boundaries. The global average temperature has surpassed the 1.5-degree target on an annual level, and biodiversity continues to decline rapidly. The full impact of these phenomena is difficult to predict. Concurrently, human consumption and natural resource depletion are not decreasing, but increasing.

Fundamentally, all consumption is bad for the environment. Even if an electric car was powered solely by renewable energy and fully constructed from recyclable materials—which it is not yet—its lifecycle would still harm the environment. Yes, indeed, the net impact might be slightly positive if it replaces an older vehicle that emits more pollutants. Circular economy is often seen as a remedy to consumption-related harms, but truly sustainable products are only those that last forever.

The same principles apply to the energy sector. Electricity demand is expected to grow significantly; however, the most environmentally friendly way to generate energy is energy conservation. The drivers for the increase in electricity consumption include the electrification of industry and transportation, hydrogen production, and data centers. It is vital to assess the net impacts of each of new electricity consumers and consider whether all are really necessary. A part of the increase in electricity consumption is intended to have a positive environmental impact despite the increase in electricity consumption. E.g., production of e-fuels from hydrogen and captured atmospheric carbon dioxide should gain a net positive impact, even though the energy needs are enormous.

The prospects for heating needs are more predictable. As long as humans have lived in Finland, the habitats have needed heating, and so it will also be in the future. Therefore, it is essential to look for the heat production method that is best for the planet in the long term.

Waste heat recovery is a competitive solution, and its abundance increases with rising electricity consumption. However, reliable production cannot only rely on waste heat; independent energy sources are also needed. Heat production must also be predictable.

In this regard, nuclear energy excels, as it offers minimal emissions and requires less raw material and land area compared to any other methods. These reasons led to that Helen launched a nuclear energy program in the summer of 2024. The program aims at enabling completely combustion-free heat production in Helsinki by 2040. Until then, the heat portfolio will be based on biomass, electric boilers, and heat pumps.

The nuclear program will by certainty face also challenges. The nuclear industry is attempting to enhance the competitiveness of nuclear energy through modularity, serial production, and simplified reactor solutions, but it will take time for these efforts to be reflected in plant pricing.

Traditionally nuclear plants have been placed in desolated locations, but for district heating it is economically crucial to locate the plant close to the city. Industry experts know that safety is not the primary concern with the close siting—energy production methods are often evaluated based on associated fatalities, and nuclear power is one of the safest in this regard. However, people's concerns with the close location are genuine and must be taken seriously. Furthermore, in the SMR-hype, it is essential not to overlook nuclear safety questions, but carefully assess the plants.

Nevertheless, physically, the equation is clear: Finland needs heat, and it should be produced in a manner that minimizes environmental impact, i.e., by nuclear energy. Therefore, we proceed determinedly forward. We are currently in the preparatory phase of our nuclear program. During this phase we intend to start the land-use planning processes for optional sites and

select the main candidate for the plant supplier.

We will certainly face many challenges along the way, including challenges that will take us by surprise. Even though we will be surprised, we can be prepared with the right attitude. The most important thing is that we move, with deliberate steps, in the right direction, a direction that also brings good news for the environment.

## **MSc (Tech & Econ) Janne Liuko**

Nuclear Program Manager

Helen Oy

janne.liuko@helen.fi

# ATS:N SYYSSEMINAARI 2024

ATS toi jäsenistölleen valoa pimenevään marraskuuhun järjestämällä odotetun syysseminaarin 20.11.2024. Tilaisuus houkutteli Helsingin yliopiston päärakennukseen yli sata tiedonjanoista seuran jäsentä kuuntelemaan esityksiä ajankohtaisista aiheista.

**Teksti:** Janne Valkonen

**Kuvat:** Samuli Siltanen

**E**des vaakatasossa Helsinkiä piiskannut myrskytuuli ja räntäsade eivät haitanneet ydinvoimaväen kokoontumista mielenkiintoisten seminaariesitysten äärelle. Ohjelmassa oli STUKin, Fortumin ja TVO:n puheenvuorot ajankohtaisista aiheista, kokemukset FIR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoistosta sekä kuulumiset OL3:n ensimmäisestä vuosihuollosta. Tilaisuuden huipensi Pekka Jauho -palkinnon jakaminen.

## ATS:LLÄ TAPAHTUMARIKAS VUOSI

ATS:n puheenjohtaja Hanna Tynys avasi seminaarin kertomalla menneen vuoden



**DI Janne Valkonen**  
Head of Engineering  
Platom Oy  
janne.valkonen@platom.fi

jäsentapahtumista ja raottamalla myös vuoden 2025 alustavaa tapahtumakalenteria. Perinteisten seminaarimuotoisten Helsingissä ja Raumalla pidettyjen jäsentilaisuuksien lisäksi järjestettiin kesäinen illallisristeily Helsingin edustalla.

Young Generation (ATS YG) teki vierailun FIR 1 -tutkimusreaktorin tiloihin ja järjesti Summer Symposiumin. Seniorijaos sai uuden vetäjän, kun Riitta Kyrki-Rajamäki otti senioreiden koollekutsujan roolin haltuunsa. Women in Nuclear (WiN) oli aktiivisesti mukana muun muassa Nordic Nuclear Forumissa ja järjesti useita kohdennettuja verkostoitumistapahtumia.

Vuonna 2025 ATS osallistuu Tieteiden yöhön, järjestää ekskursion Kajaanin seudulle Terrafamen kaivokselle sekä CSC:n laskentakeskukseen. Johtokunnan suunnittelupöydällä on myös ulkomaan ekskursio vuodelle 2026. Vuosi 2025 huipentuu Espoon Hanasaressa järjestettävään Suomalaisen Ydintekniikan Päiviin 21.–22.10.2025.

## LAKIUUDISTUS JA VIRANOMAISSYHTEISTYÖTÄ YLI RAJOJEN

Säteilyturvakeskuksen pääjohtaja Petteri Tiippa avasi STUKin näkökulmaa ydinvoiman nykytilanteesta ja meneillään olevista hankkeista. Ydinenergiain, määräysten ja



*Syysseminari houkutteli paikalle yli sata tiedonjanoista ATS:n jäsentä.*

ohjeiston kokonaisuudistus on etenemässä julkiseen kommentointiin vuoden 2025 aikana. Uudistuksella pyritään luomaan riskitietoinen ja tavoitteellinen sääntely- ja luvitusmalli, joka mahdollistaa uudet teknologiat ja toimintamallit säilyttäen nykyisen turvallisuustason. Tavoitteena on saada uusi laki, asetukset ja määräykset voimaan vuoden 2028 aikana.

STUK on aktiivisesti mukana monella rintamalla pienvoimaloihin liittyvässä kansainvälisessä yhteistyössä. Meneillään on muun muassa kuuden maan viranomaisyhteistyö ranskalaisen Nuward SMR -konseptin arviointiin liittyen. Kansainvälistä yhteistyötä tehdään myös IAEA:n organisoimien työryhmien kautta, OECD/NEA:n komiteoissa sekä bilateraalisen yhteistyönä Ruotsin ydinturvallisuusviranomaisen SSM:n kanssa.

Puheenvuoronsa lopuksi Tiippa korosti käyvien ydinvoimalaitosten turvallisuudesta huolehtimisen merkitystä



Fortumin Petra Lundström kertoi Fortumin tekeillä olevasta uuden ydinvoiman selvityksestä.



STUKin pääjohtaja Petteri Tiippa korosti puheenvuorossaan käyvien ydinvoimalaitosten turvallisuudesta huolehtimisen merkitystä.

paljon julkista huomiota keräävien uudishankkeiden rinnalla. Sekä Olkiluodon sekä Loviisan laitoksia aiotaan käyttää vielä pitkään ja niiden kohdalla ikääntymisen hallinta on merkittävä osa ydinturvallisuuden ylläpitämisestä.

## LOVIISAN KÄYTTÖIÄN PIDENTÄMYS JA FORTUMIN UUDEN YDINVOIMAN SELVITYS

Fortumin Petra Lundström (EVP, Nuclear Generation) kertoi Loviisan voimalaitoksen kuulumisia. Westinghouse on suunnitellut Loviisan laitokselle uuden polttoainetyypin. Kehitysprojekti eteni varsin ripeästi: yhteistyö aloitettiin vuonna 2022, uraanipellettejä sisältämätön koe-elementti ladattiin reaktoriin vuoden 2023 vuosihuollossa ja vuoden 2024 vuosihuollossa ladattiin ensimmäinen erä uutta polttoainetta Loviisa 2 -reaktoriin.

Loviisan laitosten käyttöluupa on hyljätty uusittu vuoteen 2050 saakka ja Fortumilla on käynnissä mittava investointiohjelma laitosten käyttöiän pidentämiseksi ja ydinturvallisuuden parantamiseksi. Suunnitellut investoinnit toteutetaan arviolta 200 yksittäisessä projektissa ja niiden yhteenlaskettu arvo on noin 1 miljardi euroa. Lisäksi Fortum selvittää yhdessä muiden ruotsalaisten laitosten omistajien kanssa Oskarshamnin ja Forsmarkin reaktoreiden käyttöiän pidentämistä jopa 80 vuoteen.

Vuonna 2022 Fortumin käynnistämä uuden ydinvoiman selvitys valmistuu keväällä 2025. Selvityksessä on tutkittu kaupallisia, teknologisia, yhteiskunnallisia, poliittisia ja lainsäädännöllisiä edellytyksiä sekä pienydinvoimalle että suurille reaktoreille Suomessa ja Ruotsissa.

Kummassakin maassa edellytykset uuden ydinvoiman rakentamiselle ovat lähtökohtaisesti hyvät, koska valtaosa kansasta suhtautuu ydinvoimaan myönteisesti ja molempien maiden hallitukset ovat ilmoittaneet haluavansa lisää ydinvoimaa hiileneutraaliustavoitteiden saavuttamiseksi. Poliittisesta myötätuulesta huolimatta investoiminen uuteen ydinvoimaan edellyttää kattavaa riskienhallintaa ja riskien jakamista eri osapuolten välillä.

Kummassakin maassa edellytykset uuden ydinvoiman rakentamiselle ovat lähtökohtaisesti hyvät, koska valtaosa kansasta suhtautuu ydinvoimaan myönteisesti ja molempien maiden hallitukset ovat ilmoittaneet haluavansa lisää ydinvoimaa hiileneutraaliustavoitteiden saavuttamiseksi. Poliittisesta myötätuulesta huolimatta investoiminen uuteen ydinvoimaan edellyttää kattavaa riskienhallintaa ja riskien jakamista eri osapuolten välillä.

## POSIVAN LOPPUSIJOITUSLAITOS KOEKÄYTTÖVAIHEESSA

TVO:n johtava asiantuntija Sami Jakonen kertoi kuulumisia Posivalta, joka aloitti elokuussa 2024 maailman ensimmäisen ydinjätteen loppusijoituslaitoksen koekäytön. Koekäytössä laitoksen toiminta testataan kattavasti ei-radioaktiivisten harjoituselementtien avulla. Samalla osoitetaan maan päällä sijaitsevan kapselointilaitoksen ja maanalaisen loppusijoituslaitoksen toiminta sekä laitoksen henkilöstön valmius teollisen mittakaavan loppusijoitustoimintaan.

Kapselointilaitoksen koekäyttö sisältää lukuisia vaiheita. Yksinkertaistettuna koekäyttö alkaa testisiirtosäiliön saavuttua kapselointilaitokselle, jossa kapseli kootaan tarkastetuista komponenteista, harjoitusnippu sijoitetaan kapselin sisälle ja kapselin kansi hitsataan paikalleen. Sen jälkeen kapselin matka käy kohti ONKALOA, jossa se siirretään savella täytettyyn loppusijoitusreikään ja lopulta loppusijoitustunneli täytetään savella.

Posivan tekemä pioneerityö loppusijoituksen saralla on herättänyt kansainvälistä

kiinnostusta ja Posivan tytäryhtiö Posiva Solutions on myynyt ulkomaalaisille ydinjäteorganisaatioille mahdollisuuden seurata käytännön tasolla, miten loppusijoitus hoidetaan Suomessa.

Jakonen veti yhteen myös Olkiluodon muita kuulumisia menneisiin vuosihuoltoihin ja yllättäviin sähköntuotannon keskeytyksiin liittyen. OL1:n ja OL2:n nykyinen käyttöluupa ulottuu vuoteen 2038 saakka ja TVO selvittää parhaillaan mahdollisuuksia jatkaa sitä joko 10 tai 20 vuodella. Samalla selvitetään mahdollisuutta korottaa laitosten tehoa 80 MW:lla.

OL3 on liittynyt syyskuussa Fingridin taajuuden palautusreservin alassäätömarkkinaaan. OL3:lla on myös akkuenergiavarasto, joka toimii äkillisessä tuotannonkeskeytystilanteessa osana OL3-järjestelmäsuojaa. Akkuvaraston 85 MWh energiamäärä vastaa noin 1,5 minuutin yhteenlaskettua sähköntuotantoa kaikista kolmesta Olkiluodon laitosyksiköstä.

## OL3:N ENSIMMÄINEN VUOSIHUOLTO

TVO:n päänsinööri Teemu Leppänen ja OL3-vuosihuoltokoordinaattori Antti Saarinen pitivät yksityiskohtaisen esityksen keväällä 2024 suoritetusta Olkiluodon kolmosyksikön ensimmäisestä vuosihuollosta. Laitossopimuksen mukaisesti ensimmäisen vuosihuollon piti kestää 20 vuorokautta, mutta TVO oli jo aikaisemmin pidentänyt keston 30 vuorokauteen ja lopulta huoltosuunnitelmissa kestäksi ilmoitettiin 37 vuorokautta. Kun ensimmäinen vuosihuolto saatiin valmiiksi, aikaa oli kulunut kokonaiset 74 vuorokautta.

Huolto-ohjelma sisälsi kokonaisuudessaan noin 5 000 aktiviteettia, jotka oli linkitetty toisiinsa ja joita koordinoitiin erillisen aikataulunhallintaohjelman avulla. Aikataulua päivitettiin vuosihuollon aikana jatkuvasti ja siihen lisättiin huollon aikana tulleet vikailmoitukset ja muutokset.

Vuosihuoltoon sisältyi muun muassa polttoaineniippujen tarkastuksia ja mitauksia sekä sähkötekniikkaan ja automaatioon liittyviä huoltoja. Lisäksi tehtiin erilaisia muutostöitä ja kokeita sekä höyrystimen, paineistimen, pääkiertopumpujen, generaattorin ja turbiinin huollot ja testaukset.

Ensimmäisen vuosihuollon mittakaavaa ja työmäärää kuvaa hyvin huollon aikana OL3:n valvonta-alueella käyneiden ihmisten lukumäärä: alueella kävi yli 1600 ihmistä päiväkohtaisen maksimin ollessa noin 700. Ensimmäisestä vuosihuollosta

kerättiin lukuisa määrä oppeja, joita luonnollisesti hyödynnetään heti seuraavassa vuosihuollossa, jonka suunnittelu alkoi pian ensimmäisen huollon päätyttyä.

## FIR 1 -TUTKIMUSREAKTORIN KÄYTTÖSTÄPOISTO

Vuodesta 1962 lähtien pääosin tutkimus- ja koulutuskäytössä olleen FIR 1 -tutkimusreaktorin taival on tullut päätapisteeseen. VTT:n tiimipäällikkö Markus Airila kertoi TRIGA-tyyppisen reaktorin käyttöstäpoiston vaiheista kattavan kuvakavalkadin kera.

Reaktoria ajettiin viimeisen kerran vuonna 2015, jolloin aloitettiin käyttöstäpoiston lupaprosessi ja purkutöiden suunnittelu. Vuonna 2017 VTT haki valtioneuvostolta reaktorin käyttöstäpoistolupaa, joka myönnettiin täydennysten ja tarkennusten jälkeen 2021. Reaktorin lopullisen purkamisen suoritti Fortum, joka aloitti käytännön purkutyöt suunnitteluvaiheen jälkeen vuonna 2023. Reaktori oli kokonaan purettu ja tilat puhdistettu vuoden 2024 loppupuolella.

FIR 1 oli Suomen ensimmäinen ydinreaktori ja myös ensimmäinen Suomessa käytöstä poistettu reaktori. Käytöstäpoistoprojektista pyrittiin ottamaan kaikki mahdollinen oppi talteen, jotta myös suurten reaktorien purkaminen onnistuisi aikanaan sujuvasti.

Oppeja on jäänyt talteen muun muassa ydinjätehuollon vastuiden määrittelyyn, lupaprosessiin, purkamisen suunnitteluun, purkujätteen karakterisointiin, näytteenottoon sekä varsinaiseen purkamiseen liittyen. Projekti on saanut huomiota kansainvälisesti ja johtanut myös suomalaisen teknologiaosaamisen vieniin ulkomaille.

Purkuvaiheen merkittävin käyttötapahdus, sekin onneksi vain INES-luokkaa 0, tapahtui kesällä 2023, kun reaktorihallin lattialle valui kolme kuutiometriä vettä sisältäen pieniä määriä radioaktiivisia aineita. Vesi pääsi vuotamaan liikuntasauhasta haurastuneen bitumin läpi. Koska poikkeustilanteisiin oli ennalta varauduttu ja radioaktiivisuuden määrä oli pieni, kaikki vesi saatiin kerättyä talteen eikä ihmisiä altistunut normaalista poikkeavalle säteilyannokselle.

Puretun reaktorin käytetty polttoaine on kuljetettu Yhdysvaltoihin ja reaktorin purkamisesta syntynyt radioaktiiviseksi luokiteltava jäte on toimitettu Loviisan ydinvoimalaitoksen matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilaan. FIR 1:n käyttöstäpoistosta on kolme laajempaa artikkelia tässä lehdessä.



*TVO:n Sami Jakonen kertoi Posivan loppusijoituslaitoksen koekäytöstä.*



*TVO:n Teemu Leppänen ja Antti Saarinen (kuvassa) kertoivat OL3:n ensimmäisen vuosihuollon käänneistä.*



*VTT:n Markus Airila esitteli kokemukset ja opit Suomen ensimmäisen reaktorin käyttöstäpoistosta.*



Seminaari-  
illallisella oli  
rento tunnelma.



## PEKKA JAUHO -PALKINTO OLKILUOTOON

Seminaarin virallinen osuus huipentui Pekka Jauho -palkinnon jakamiseen. Palkinto myönnetään ydintekniikan alalla tehdystä merkittävästä tiedonjulkistustyöstä, joka on lisännyt ydintekniikan ymmärrystä, parantanut yhteistyötä alalla ja antanut virikkeitä yhteiskunnalliselle keskustelulle.

Tällä kertaa Pekka Jauho -palkinnon sai vastaanottaa Teollisuuden Voiman viestintäpäällikkö Johanna Aho, joka on menneinä vuosina yhdessä Olkiluodon viestintätiimin kanssa osoittanut erinomaista osaamista ydinvoima-alan viestinnässä. Johannan selkeät viestit Olkiluodosta välittävät laajalle yleisölle monipuolista kuvaa ydinvoimasta ja työskentelystä alalla sekä rakentavat luottamusta siihen, että ydinalan ammattilaiset tekevät aina parhaansa. Olkiluodosta kantautuvien viestien asiasisältö ja tyyli ovat olleet merkittävässä roolissa rakentamassa suomalaisten luottamusta ydinenergian käytön turvallisuuteen ja edistämässä avoimuuden ja läpinäkyvyyden kulttuuria haastavista asioista viestimässä.

Seminaarin virallisen osuuden päätyttyä jäsenistö pääsi verkostoitumaan ja jatkamaan keskusteluita illallisen yhteydessä. 🍷



Pekka Jauho -palkinnon vastaanottanut TVO:n viestintäpäällikkö Johanna Aho ja ATS:n puheenjohtaja Hanna Tynys sädehtivät syysseminaarin kuvaus sessiossa.



Jäsentilaisuuden yleisöä Aalto-yliopiston M1-salissa (kuva: Taina Kurki-Suonio).

## YDINVOIMAN MONET SUUNNAT – URATARINOITA JA KATSAUS NYKYTILAAN

Keskiviikkona 26.2.2025 heti työpäivän jälkeen joukko ATS:n jäseniä ja Aallon opiskelijoita kokoontui Aalto-yliopiston M1-saliin rentoon tapahtumaan, jossa neljä alalla toimivaa ihmistä kertoi omasta polustaan ydinasioiden pariin.

**Teksti:** Taina Kurki-Suonio



**Dos. Taina Kurki-Suonio**

Vanhempi yliopistonlehtori  
Aalto-yliopisto, Teknillisen fysiikan laitos  
taina.kurki-suonio@aalto.fi

**A**jatus tällaisesta hiukan epämuodollisesta jäsentilaisuudesta oli syntynyt toisessa hiukan epämuodollisessa tilaisuudessa eli ATS:n hallituksen pikkujoulusaunassa edellisen vuoden joulukuussa. Koska tilaisuus sopi myös kevyen tason tiedottamiseen seuramme ulkopuolisille, Aalto-yliopisto nähtiin tapahtumalle sopivaksi paikaksi. Tyypillinen ongelma on tilaisuudesta tiedottaminen, mutta tässäkin yritimme parhaamme: viesti tapahtumasta lähti paitsi fyysikkokillalle myös sähkö- ja energiatekniikan opiskelijoille.

Ilmoittautuneita oli 43, mutta jylläävä flunssakausi näytti karsineen väkeä. Llahduttavaa kuitenkin oli, että killoille lähetetyt kutsut olivat löytäneet perille. Esitysten oli toivottu olevan napakoita, pituudeltaan 15 minuuttia, ja silti pitävän si-

sällään myös puhujan oman alan nykytilanteen mielenkiintoisimpia Aspekteja.

Jokaisen esityksen jälkeen annettiin 5 minuuttia kaikkein polttavimmille kysymyksille ja kommentteille, mutta pitempien jutustelujen toivottiin odottavan itse esityksen jälkeen pidettävään välipalatarjoiluun. Oli suurenmoista, kuinka hyvin sekä puhujat että yleisö kunnioittivat näitä aikarajoitteita.

### ELÄMÄN VIRTAA

Mistään sotilaallista kuria henkivästä tilaisuudesta ei kuitenkaan ollut kyse, kuten kuvien ilmeistä voi päätellä. Puhujillamme oli asiaan juuri oikea ote: he eivät olleet tekemässä yleisöön vaikutusta vaan kertomassa, millaisten sattumusten summana elämän virta oli heidät kuljettanut ydinasioiden äärelle.

Ensimmäisenä puhui Antti Snicker VTT:ltä otsikolla "Noppaa heittämillä Monte Carlo -osaajaksi". Esitys piti sisällään todellisen hattutempun: ylioppilaskirjoitusten jälkeen Antti oli kirjaimellisesti laittanut kaksi lappua hattuun päättääkseen, lähteekö TKK:lle opiskelemaan teknillistä fysiikkaa vai jääkö Kuopioon lääkkeeseen.

Meidän kaikkien onneksi oikea lappu nousi hatusta ja nyt Antti johtaa ASCOT-tutkimusryhmää VTT:llä, missä yritetään saada erittäin korkeaenergisiiä hiukkasia (3,5 MeV alfoja ja 14,1 MeV neutroneja) käyttäytymään soveliaasti fuusioreaktorissa. Itse jäin hänen uratarinassaan kaipaamaan verta ja suolenpätkiä, eli kesätyötään Atrian teurastamon lihanleikkaajana.

Riina Virta STUKista piti ihastuttavan runollisen esityksen omasta polustaan, joka hänen nuoren ikänsä takia on vielä aika lyhyt mutta sitäkin monipolvisempi. Riina on tehnyt työtä ja tutkimusta aurinkoenergian, akkujen, tuulienergian ja energiatalouden parissa, ennen kuin löysi "oikean polun" seuraamaksi.

### RISTEYSVALINTOJA

Riina kokee oman urapolkunsu noudatettavan Robert Frostin runoa "The road not taken". Vieläkin hurjempi mahdollisuus olisi voinut toteutua, jolloin Riina istuisi nyt kirjastossa saksankielisten kirjojen ympäröimänä kirjoittamassa runoja. Meidän kaikkien kannalta on ehdottomasti parempi, että Riina toimii nyt tarkastajana

Riinan havainnekuva päätöksentekoprosessista runoilija Robert Frostin tyyliin (kuva: Riina Virta).

STUKissa ja pitää huolta, että ydinaineinventaarit pysyvät kuosissa.

Riinan esityksen otsikko oli "Mitä yhteistä on matematiikalla ja ydinenergialla?" Esityksen tieteellisen osuuden helmi oli kuvaus Passive Gamma Emission Tomography -menetelmästä, jolla pystytään ei-intrusivisesti tutkimaan käytetyn polttoainepun sisältöä. Sen tarkempi kuvaus löytyy ATS Ydintekniikka 3/2024:stä.

Aalto-yliopiston oma poika ja ATS Ydintekniikan päätoimittaja Jarmo Ala-Heikkilä puhui otsikolla "Säteilyfyysikosta päätoimittajaksi". Tämä esitys sisälsi näkökulmia maailmanpolitiikkaan, jotka ovat vetäneet itse kunkin vakavaksi viime vuosina.

Säteilyfyysikkonahan Jarmon tutkimus on ollut pitkälti gammaspektrometriaa ja sen soveltamista kattavan ydinkoekielto-sopimuksen (CTBT, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty) valvontaan. Tätä vuonna 1996 valmistunutta sopimusta eivät edelleenkään kaikki ydinasemaat ole ratifioineet, joten se ei ole astunut voimaan.

Poliittiset neuvotteluponnistukset eivät kuitenkaan ole valuneet hukkaan, kuten Jarmon näyttämä maailmankartta erimittauspisteistä osoitti: yli 300 mittausaseman valvontaverkosto on koko ajan toiminnassa. Lähemmäs kotia tulivat Jarmon kertomukset siitä, kuinka Suomen talouden ylä- ja alamäet ovat hänen uravalintaansa vaikuttaneet. ATS:n kannalta positiivisesti!



## ENEMMÄN MAHDOLLISUUKSIA KUIN UHKIA

Viimeisenä puhujana oli Markus Airila VTT:ltä otsikolla "Schrödingerin kissana fission ja fuusion välissä". Markus on siinä mielessä melkoinen harvinaisuus, että hän on toiminut erittäin vastuullisissa tehtävissä sekä fission että fuusion alalla: Markushan oli vastuussa Trigan purkamisesta ja on nyt fuusioryhmän johtaja VTT:llä.

Ehkä kuitenkin suurinta mielenkiintoa ja hilpeyttä yleisössä herätti Markuksen viimeisin projekti: koska opiskeluaikana hän kirkkaasti alisuoriutui fuksien ykkösprioriteetissa eli teekkarilakin ansaitsemisessa urheilukiireiden vuoksi, hän on tänä vuonna suorittamassa tätäkin rastia. Haalari on

kuulemma jo haalittu ja siinä peräti kaksi merkkiäkin. Ehkä jo tänä vappuna Markus voi ylpeänä esitellä uutta päähinettä.

Kaiken kaikkiaan meillä oli iloinen tapahtuma – en muista toista jäsentilaisuutta, jossa olisi naurettu yhtä paljon. Esitykset olivat aivan oivallisia, sopivan pituisia ja hyvällä asenteella. Kysymykset ja keskustelut jatkuivat virallisen osuuden jälkeen ja kaikki ruoka meni. Skumppaa jäi yli, mikä on hämmästyttävää teekkarivoittoisessa porukassa.

Ehkä yhden havainnon haluan vielä kanssanne jakaa: en voinut välttyä vaikutelmalta, että kaikkien burnout- uutisten keskellä meidän allamme tuntuu löytyvän vielä tekemisen iloa ja haasteiden hakemistakin! Koitetaan säilyttää tämä ilmapiiri. 🌀



Jäsentilaisuuden esiintyjät Markus Airila, Riina Virta, Antti Snicker ja Jarmo Ala-Heikkilä vauhdissa (kuvat: Antti Snicker, Taina Kurki-Suonio, Jarmo Ala-Heikkilä).

# GENERAL DESCRIPTION OF THE FINNISH NUCLEAR LICENSING PROCEDURE

The use of nuclear energy is subject to a licence in Finland. The Nuclear Energy Act presents the requirements concerning the licensing procedures, regulatory oversight and relevant authorities concerning the use of nuclear energy. This article describes the current nuclear licensing procedures and focuses on nuclear safety specific documentation.

**Text:** Maria Nordlund et al.

**Figures:** Platom Oy

According to the Nuclear Energy Act, the Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK) is responsible for specifying detailed safety requirements concerning the implementation of the safety level in accordance with the Nuclear Energy Act. STUK presents the safety requirements in Regulations and the mandatory YVL Guides (Regulatory Guides on nuclear safety). STUK also supervises their implementation.

The YVL Guides present more than 6,000 requirements. The application of the requirements in new build, in nucle-



**Maria Nordlund**

Licensing and Qualification Manager,  
Leading Expert  
Platom Oy  
maria.nordlund@platom.fi

ar power plant projects and other nuclear projects requires practical expertise and a broad understanding of the requirements.

The licensing/qualification process together with required licensing documentation is traditionally divided into three different levels in Finland, i.e. Plant, System and Component Levels. Slight differences between licensing requirements and required documentation occur between a new nuclear facility and plant modifications.

Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland (MEAE) and STUK are currently preparing a regulation update, which is expected to be published in 2028. The goal of the update is to enable and support expected development of the operating environment (including operators, operating models and technologies), as well as consider lessons learned from the current legislation.

## LICENSING PLANNING

To succeed in nuclear projects, it is important to identify the right licensing and qualification tasks and documents at a right stage, as early as possible, and to plan their implementation. To help recognizing and managing the licensing entity, a licensing plan is prepared.

Guide YVL A.5 requires the licensee to draw up a licensing plan for the construction of a new nuclear facility or for an extensive modification of an existing facility. The plan presents how the fulfilment of nuclear and radiation safety requirements is ensured and verified at different stages of the project or modification.

The licensing plan presents, among other things, the phases and schedules of the project or modification, such as the design, construction, manufacturing, installation and commissioning phases and their durations, as well as the connection to the stages of the regulatory process. The licensing plan identifies the needed licensing documentation, planning of their possible batching, and assesses the scope of the documentation to be prepared to demonstrate compliance with safety requirements.

Generally, such documentation includes project and quality plans, plant and system requirement specifications and inspection plans, phases, result and final reports, as well as commissioning plans and programmes. The interdependencies between the documentation of different technologies shall be considered, especially for equipment important for safety.

Once the required documents have been identified, the delivery methods and schedule for submitting documentation to authority review are defined: which documents can be submitted simultaneously and which documents need approval before the "lower-level" documents can be submitted (i.e., plant vs. system vs. component level). An important thing to remember and consider is the time needed for review and internal approval of the documents especially with the documents prepared by suppliers.

With a solid licensing planning, a project team knows what to do, when and in which order. A well-prepared licensing (plan) helps the project to focus on the right things based on the requirements of the project and ensures timely verification and validation of the safety requirements.

## PLANT-LEVEL LICENSING STARTS WITH DECISION-IN- PRINCIPLE

Licensing culminates into demonstrating the safety of a nuclear facility. The licensing steps for a new nuclear facility takes place in three stages: 1. decision-in-principle, 2. construction licence and 3. operating licence. Requirements are set also for decommissioning licence. The licences are granted by the Government, with MEAE acting as the contact authority.

A precondition for any construction of a nuclear facility of considerable general importance is a Government decision-in-principle issued pursuant to Nuclear Energy Act. The Nuclear Energy Act introduces the characteristics for nuclear facilities with considerable general importance. During the decision-in-principle stage, it is assessed whether the new nuclear facility project is in line with the overall interest of society. In practice, in the decision-in-principle phase the licensee applies for permission to start the design phase of a nuclear facility project, which in turn aims toward a construction licence application.

In the decision-in-principle stage, the licence applicant shall submit a description of the technical operating principles of the planned nuclear facility and a description of the safety principles to STUK. Also, when applying for a government decision-in-principle, Environmental Impact Assessment report and STUK's statement on the assessment report needs to be submitted.

The documentation requirements are presented in more detail in the Nuclear Energy Decree and Guide YVL A.1.

## CONSTRUCTION AND OPERATING LICENCE

The most important documentation in the construction licence phase is the Preliminary Safety Analysis Report (PSAR). PSAR includes, e.g., preliminary system descriptions and results of preliminary safety analyses.

Other documents to be submitted to STUK in the construction licence stage include, e.g., reports on the operation and behaviour of the nuclear facility during accidents, probabilistic risk assessment (PRA) of the design phase, licensing plan, description of quality management during construction and quality manuals.

As the name implies, the operating licence phase involves applying for a permit to commission the plant. The authorisation is applied for with the Final Safety Analysis Report (FSAR), which includes, e.g., the detailed system descriptions. The FSAR presents the nuclear facility as it has been completed and how its design has been specified during the construction phase.

In addition to the FSAR, the operating licence requires, among other things, a probabilistic risk analysis, a safety classification document, an operational quality management programme, the Operational Limits and Conditions, an ageing management programme, and a description of the fulfilment of safety requirements.

## PLANT MODIFICATIONS

The safety of plant modifications shall be demonstrated according to the same principles as for new nuclear facility projects.

A conceptual design plan is drawn up for modifications made to operating nuclear facilities that particularly affect the operation of systems important to safety, change the operating principles, objectives, dependencies of the systems, or affect the functional architecture of the fa-

cility. It is submitted to STUK for approval. A conceptual design plan is also drawn up for systems classified as EYT/STUK (no nuclear safety classification) and they are submitted to STUK for information.

The conceptual design plan presents a general description of the modification and the systems to be modified, the initial requirements for the planning of system-level changes, a description of the effects of the modification on the plant's operating principles and accident conditions, a description of the analyses to be prepared, and a description of the schedule of the modification. The more detailed content requirements of the conceptual design plan are described in Guide YVL B.1.

## SAFETY DEMONSTRATION

The ultimate purpose of demonstrating safety is that use of nuclear energy shall not cause harmful effects to people or damage to the environment or property.

The Nuclear Safety Directive 2014/87/EURATOM sets the ultimate safety objective in Article 8a. The Member States of the European Union must ensure that nuclear facilities are designed, located, constructed, commissioned, operated, and decommissioned with the aim of preventing accidents.

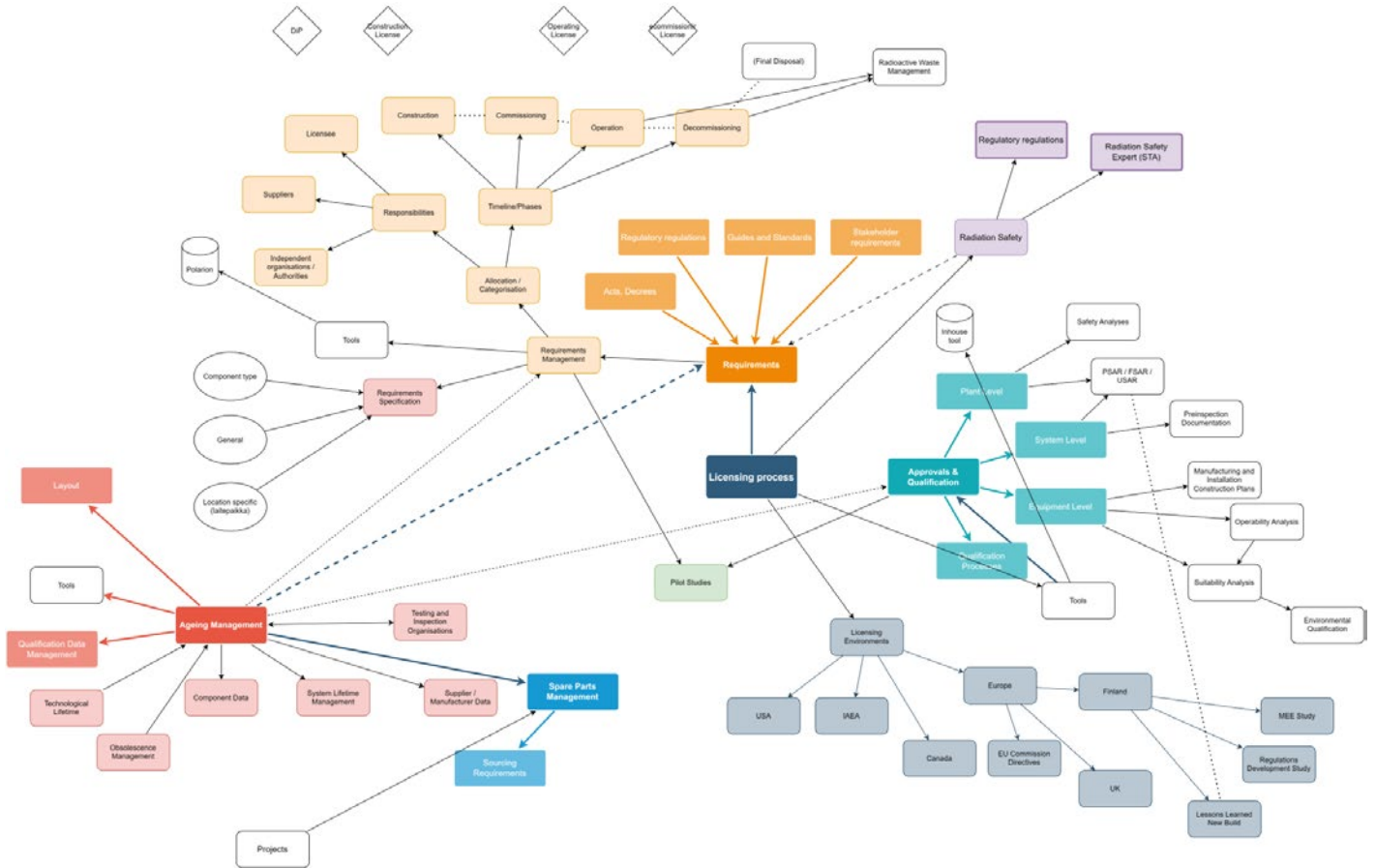
In addition to preventing accidents from occurring, preventative efforts shall be made to mitigate their potential consequences. Planning shall aim to eliminate early radioactive releases that would require protective measures outside the nuclear facility site but for which there would not be enough time to implement. In addition, large radioactive releases that would require protective measures that could not be limited in area or time must be practically eliminated by means of planning.

However, the nuclear power plant design considers and, on the other hand, "accepts" the occurrence of minor (accidental) disturbances. These transients and accidents are classified as operational occurrences, class 1 and class 2 accidents, design extension conditions, and severe accidents. The allowable initiating event frequency for these initiating event classes decreases in the above order. The more likely the initiating event category, the lower the released amount of radioactive substances is permitted.

The main safety functions are the control of the reactivity of nuclear fuel, the management of heat removal, and the prevention of the spread of radioactive substances. For each category of initiating events, design basis initiating events



*Platom's Leading Experts Maria Nordlund and Toivo Kivirinta are experienced with various licensing topics.*



are defined. Safety functions are designed to manage and mitigate the consequences of initiating events so that the acceptance criteria defined for the initiating event category are met and the main safety functions are mastered.

Deterministic safety analyses demonstrate the management of the initiating events of each initiating event category so that system failure assumptions are made in the analyses in accordance with the rules laid down in Guide YVL B.3. Each analysis must meet predefined acceptance criteria.

Probabilistic Risk Assessment (PRA) assesses plant safety using quantitative methods throughout the plant's service life, from the preparation of the construction licence to final disposal. The PRA analysis is divided into three levels, the first of which assesses the core damage frequency of the facility, the second the frequency of a large radioactive release, and the third the risk to humans and the environment caused by the release. PRA has the advantage of identifying complex equipment failure combinations. The PRA is maintained continuously, and the so-called living PRA can be used to assess the risk impact of plant modifications.

The requirement of the Nuclear Safety Directive to prevent early and large radioactive releases applies only to nuclear facility projects for which a construction licence has been granted for the first time after August 14, 2014. This requirement shall also be applied in plant modification projects at operating plants to reduce the possibility of early or large radioactive releases.

### SYSTEM-LEVEL LICENSING

When licensing a new nuclear facility, a preliminary system description shall be developed for each system of the facility. The system descriptions are part of the Preliminary Safety Analysis Report (PSAR) documentation. The PSAR with appendices shall be submitted to STUK for approval when applying for a construction licence. Later, when applying for an operating licence, the system level documentation is developed to describe the facility in more detail and is called the Final Safety Analysis Report (FSAR).

At operating nuclear facilities, as mentioned, a conceptual design plan must be drawn up for the plant-level modifications. A conceptual design plan shall also be

*Various processes that were used as a basic structure in Platom's ECO-Fusion R&D project.*

made for an individual system if the design basis of the system changes.

If a conceptual design plan for a modification has been drawn up or if the modification affects the safety functions of the system, a pre-inspection documentation (ETA) package shall also be prepared. It is a document package equivalent to the PSAR for new nuclear facilities.

ETA is a system-level document package designed to identify and describe the effects of a planned plant or system modification on the system and related systems and to define system-level requirements. The purpose of the ETA is, above all, to justify the acceptability of the planned modification from the perspective of nuclear safety.

ETA documentation package typically includes a main document that describes the modification comprehensively from different perspectives, taking into account all fields of technology, together with an update to system description, which describes the effects of the modification on a valid FSAR. The acceptability of the mod-

ification from the perspective of nuclear safety can be examined in a separate safety assessment or it can be combined with the main document.

The main ETA document typically contains at least a summary of the analyses justifying the acceptability of the modification, but it may also contain the specific safety analysis reports that provide said justification in detail. In addition, system-specific qualification and quality plans and requirement specifications are drawn up in connection with the ETA.

The ETA documentation of safety-classified systems shall be submitted to STUK for approval or for information depending on its classification. For other system modifications, a description of the modification shall be submitted to STUK for information, presenting the purpose and main features of the modification.

Plant- and system-level modifications may cause changes also at component or structure level. If the new components have not yet been qualified for the nuclear facility in question, or if the component requirements change from previously qualified, the component shall be qualified in accordance with the requirements approved in ETA.

The content requirements for PSAR, FSAR and pre-inspection document are described in Guide YVL B.1.

## COMPONENT-LEVEL LICENSING AND QUALIFICATION

The component level licensing and qualification requirements are presented in the E group of the YVL Guides.

According to STUK, “qualification is normally used as a synonym for “validation” in YVL-guides”. Qualification shall refer to confirmation, through the provision of objective evidence, that the requirements for a specific intended use or application have been fulfilled. Outside Finland, qualification is often understood and restricted only to consider environmental conditions, but in Finland the qualification refers to a broader scope. This should be taken into account especially when working with foreign suppliers and manufacturers.

Regarding mechanical components and structures, compliance with the requirements is demonstrated in construction plan documentation. The compatibility of the mechanical component (i.e., pump or valve) and electrical and I&C equipment is demonstrated with an operability analysis that is appended to the construction plan. The construction plan

can be drawn up in two parts, the manufacturing construction plan and the installation construction plan, but can also be combined into a single construction plan.

The construction plans shall be reviewed and approved by STUK or an authorised inspection organization (AIO) in accordance with the division of inspection responsibilities presented in the YVL Guides.

A separate manufacturer approval shall be applied for the manufacturer of mechanical component if special processes are used in the manufacturing or installation of parts relevant to the operability of the component. Construction material shall also be approved in accordance with Guide YVL E.3 if the construction material is not based on a material standard generally known in Finland.

Mechanical components and structures are subject to construction inspections both after manufacture and installation. The manufacturing construction inspection shall provide evidence that the materials, manufacture, structures, and operation of the component comply with the construction plans. The component (manufacturing) construction inspection shall have been successfully completed before the valve is installed.

The installation construction inspection carries out inspections within the scope of the approved inspection plan and determines the acceptability of the installation final documentation. In addition, the installation construction inspection shall provide evidence that the component installation work and the quality control of the installation work have been carried out in accordance with the installation construction plan. The (installation) construction inspection shall have been successfully completed prior to the commissioning inspection of the component.

The demonstration of the suitability of safety-classified electrical and I&C equipment (including software, radiation monitoring equipment and cables) requires the preparation of both a preliminary and a final suitability analysis. Suitability analyses can be combined into a single document if the qualification of the component does not involve type approval, software assessments, tests or factory tests and the suitability assessment can be prepared directly in connection with the component selection process. Suitability analyses are not required for serially manufactured installation accessories which will be used in normal operating conditions.

In connection with the preliminary suitability analysis, STUK shall be provided

with the requirement specification of the component as well as the quality and qualification plans, unless these matters have already been discussed in connection with the system-level, i.e., pre-inspection documentation. A qualification plan is necessary for the approval of the component, because it includes a plan of the documentation, analyses, tests, and documentation required for validation, as well as a roadmap with timelines and dependencies.

In connection with the final suitability analysis of safety class 2 components, an independent assessment of the acceptability of qualification measures shall be presented. In addition, a requirement specification review shall be carried out as part of the qualification of safety class 2 components to demonstrate that the requirements of the product are consistent with the higher-level requirements.

## R&D WORKS

Platom participated in “Finnish Ecosystem for Industrial Fusion Technology” (ECO-Fusion) project (2021-2024), a Business Finland funded co-innovation initiative. It consisted of research projects by VTT (coordinator) and the University of Helsinki, and company projects by Comatec, EOS Finland, Luvata and Platom.

Primarily Platom’s focus on the project was on licensing and safety, and more specifically the area of licensing and authority requirements. Within one of Platom’s subprojects, schematic diagrams and “a licensing tool” were prepared to help project managers for identifying licensing documents that are needed and ensuring sufficient resources to prepare them.

## PLATOM CAN HELP

This article is based on a blog series that was published on our website <https://platom.fi/en/> last autumn. The original blog texts are written by several nuclear experts within our organization. You may also find other interesting articles on Platom’s website.

We hope this article gives a general picture of the Finnish nuclear licensing procedure. The theme is constantly evolving and profound, and some things are open to interpretation. That is why experience is very useful. Platom is happy to advise companies already operating or aspiring to enter the nuclear industry to develop their operations to meet the requirements, so do not hesitate to contact us! 🌐

# TRIGA ON NYT PURETTU

Markus Airila<sup>1</sup>, Antti Rätty<sup>1</sup>, Petri Kotiluoto<sup>1</sup>, Ville Oinonen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, <sup>2</sup> Fortum Power and Heat Oy

Vuonna 1962 käyttöön otettu TRIGA-tyyppinen FiR 1 -tutkimusreaktori oli Suomen ensimmäinen ydinlaitos ja nyt myös ensimmäinen nykyisen ydinenergialain mukaisesti käytöstä poistettu ydinlaitos. Reaktoria käytettiin monipuolisesti tutkimukseen, koulutukseen, isotooppituotantoon teollisuudelle ja terveydenhuollolle sekä syöpähoitojen tutkimukseen. Vuonna 2012 reaktorin omistaja ja luvanhaltija VTT päätti lopettaa reaktorin käytön taloudellisista syistä ja aloittaa sen käytöstäpoiston. Varsinaisesti käytöstä poistamisen valmistelu ja luvitus alkoivat reaktorin käytön päättyessä kesäkuussa 2015, ja purku saatiin päätökseen toukokuussa 2024.

The TRIGA-type research reactor FiR 1, commissioned in 1962, was Finland's first nuclear facility and now also the first nuclear facility decommissioned according to the current Nuclear Energy Act. The reactor was used extensively for research, education, isotope production for industry and healthcare, as well as research on cancer treatments. In 2012, VTT, the owner and licensee of the reactor, decided to discontinue the operation of the reactor for economic reasons and start its decommissioning. The actual preparations for decommissioning and licensing began when the operation of the reactor was terminated in June 2015, and the decommissioning was completed in May 2024.

Tämä artikkeli on tiivis yhteenveto FiR 1:n käytöstä poistamisen eri vaiheista. Purkuvaiheen säteilysuojelusta ja tutkimusreaktorin organisaation turvallisuuskulttuurin kehittämisestä käytöstäpoiston aikana on tässä lehdessä erilliset artikkelit. ATS Ydintekniikan numerossa 1/2021 on kerrottu tarkemmin FiR 1:n käytetyn ydinpolttoaineen viennistä Yhdysvaltoihin ja numerossa 3/2021

käytöstäpoiston lupaprosessista. ATS:n verkkosivuston hakutoiminnolla on helppo löytää paljon muitakin tutkimusreaktoriin liittyviä artikkeleita vuosikymmenten varrella.

VTT:n tutkimustietoportaali on projektisivu [1], jonka kautta on löydettävissä kattava tieto kaikesta projektiin puiteissa julkaistusta tieteellisestä aineistosta sekä mediatietoja. Projektista pidetään yllä yleis-

tajuista infosivua [2]. Lisäksi työ- ja elinkeinoministeriöllä on oma sivustonsa hankkeeseen liittyvistä luvituksen vaiheista [3].

## Hankintasopimukset hankkeen olennaisena työkaluna

VTT toteutti merkittävän osan FiR 1:n käytöstäpoistoa hankintasopimusten kautta, sillä teollinen purkutyö ja ydinjätehuollon käytännön toteutus eivät kuulu tutkimuslaitoksen ydintoimintaan. Tärkeimmät sopimuksilla sovitut osa-alueet olivat käytetyn ydinpolttoaineen luovutus Yhdysvaltoihin ja siihen liittyvä kuljetus, reaktorin purkaminen sekä käytön ja käytöstäpoiston seurauksena syntyvien ydinjätteiden huolto (luovutus Fortumille loppusijoitettavaksi). VTT teki kaikki yllä mainitut sopimukset vuoden 2020 aikana. Sopimusten laadinta oli kriittistä luvituksen edistämiseksi.

VTT ja Fortum tekivät jo ennen varsinaisen käytöstäpoiston palvelusopimuksen solmimista lisäselvityksiä purku- ja huoltojätteen väliarastointi- ja loppusijoitusmahdollisuuksia. Tässä yhteydessä arvioitiin alustavasti kotimaisten ydinvoimalaitosten varastointi- ja loppusijoitustilojen soveltuvuutta tutkimusreaktorin purku- ja huoltojätteen väliarastointiin. Näitä selvityksiä käytettiin hankintojen tausta-aineistoina, joten niillä pystyttiin vähentämään merkittävästi VTT:lle ja palveluntarjoajille aiheutuvia epävarmuuksia ja riskejä sopimusvaiheessa.

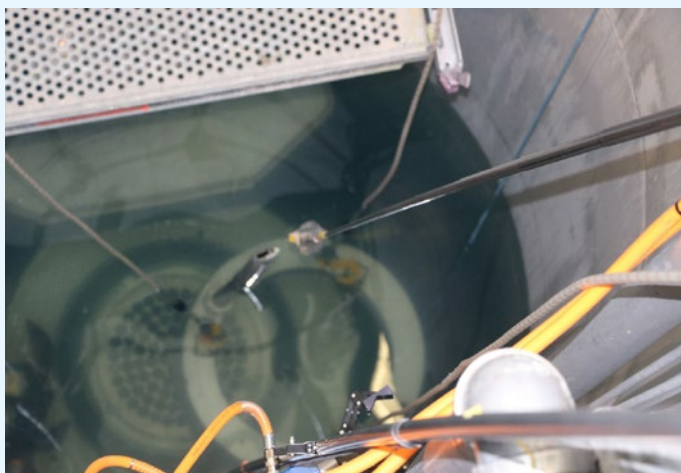
## Varsinaisen suunnittelun vaihe

Suunnittelu, sopimukset, laitoksen valmistelu purkuvaihetta varten, ydinjätehuollon valmistelu sekä luvitus vaikuttivat kukin monella tavalla toisiinsa ja etenivät paitsi peräkkäin myös paljolti rinnakkain.

Varsinainen suunnitteluvaihe alkoi VTT:n ja Fortumin välisen laajan käytöstäpoiston palvelusopimuksen voimaantulosta 1.4.2020. Suunnittelua tarkennettiin edelleen ottamaan huomioon FiR 1:n laitosalueen logistinen kokonaisuus (purkuvaiheen aluejaon, säteilysuojelun, jätehuollon sekä turva- ja valmiusjärjestelyjen yhteen sovittaminen) huomioiden myös tässä vaiheessa vahvistuneet jätteen vastaanottokriteerit.

Nämä lopulliset, Fortumin laatimat suunnitelmat toimivat vaiheittaisina purkamisen työohjeina, ja VTT päivitti myös käytöstäpoistosuunnitelman lopulliseen versioonsa niiden mukaisesti. Sama koski FiR 1 -reaktorin kaikkia laitospäätöksiä ja toimintaohjeita purkuvaihetta varten – purkuvaiheeseen siirryttäessä ne oli päivitetty yhdenmukaisiksi lopullisten pur-





*Kuva 1. Näkymä reaktoritankkiin sisäosien purkamisen aikana, kun säteilytysrengasta ollaan nostamassa pois sydämen ympäriltä (kuva: VTT).*

kusuunnitelmien kanssa. Luvanhaltijana VTT vastasi laitosdokumenttien ja toimintaohjeiden hyväksymisestä osaksi FIR 1:n toimintajärjestelmää sekä niiden toimittamisesta STUKille hyväksyttäväksi tai tiedoksi.

## Valmisteluvaihe

Suunnittelu- ja luvitusvaiheet olivat kestoaltaan useita vuosia, jona aikana VTT valmisti vähitellen laitosaluetta purkuvaiheeseen. Reaktorirakennuksesta poistettiin kaikki tarpeettomat rakenteet, esineet ja materiaalit ennen varsinaisen purkamisen aloittamista. Tavoitteena oli minimoida purkuvaiheessa syntyvän radioaktiivisen jätteen määrä ja varmistaa, että kaikki laitosalueelta pois vietävät materiaalit voidaan vapauttaa valvonnasta.

Purkamista varten tehtiin tilajärjestelyjä ja valmisteltiin alueita jätteen käsittelyä ja varastointia varten. Yksittäisinä merkittävänä toimenpiteinä toteutettiin käytetyt

ydinpolttoaineen siirto kuljetuspakkaukseen ja poiskuljetus joulukuussa 2020 sekä BNCT-hoitoaseman purkaminen kesä-heinäkuussa 2022.

Varsinaisen purkutyömaan pystytys alkoi helmikuussa 2023. Reaktorirakennuksen yhteyteen perustettiin työmaaparakit henkilömonitoreita, puku- ja sosiaalitaloja, tauko- ja kokoustiloja, työmaatoimistoa ja vartiointin tarpeita varten. Työmaa-alue oli toimintavalmiudessa purkuvaihetta varten huhtikuussa 2023. Varsinainen purkuvaihe aloitettiin 13.6.2023 kaikkien muiden purkamisen edellytysten täytyttyä, mukaan lukien STUKin 31.5.2023 tekemä velvoittava tarkastus, jossa tarkastettiin myös valmius välivarastoida tarvittaessa purkujätteitä erillisessä tilassa, niin sanotussa *Pilot-hallissa*, laitosalueella.

## Purkuvaiheen yleiskuvaus

Reaktorin purku oli suunniteltu toteutettavaksi seuraavan vaiheistuksen mukaisesti,

jossa vaiheet 2–6 muodostivat varsinaisen purkuvaiheen. Kaksi ennakkoon haastavimmiksi arvioitua vaihetta (vaihe 2, sisäosat, ja vaihe 5, biologinen suoja) on kuvattu jäljempänä hieman tarkemmin.

Vaiheet oli suunniteltu toteutettavaksi peräkkäin, mutta käytännön syistä niitä ajoitettiin jonkin verran päällekkäin. Erityisesti apujärjestelmien purku (Työohje 6) sisälsi pääosin muista vaihteista riippumattomia töitä, joten sitä toteutettiin useassa erässä väistötyönä silloin, kun muiden vaiheiden toteutuksessa ilmeni viivästyksiä.

1. (Valmisteluvaihe, kuvattu yllä)
2. Reaktorin sisäosien purkaminen
3. Primääri- ja vedenpuhdistuspiirin purkaminen
4. BNCT-keilarakenteiden purkaminen
5. Biologisen suojan purkaminen
6. Jäljellä olevien apujärjestelmien purku
7. (Työmaan siivoaminen).

Vaiheen 7 päätyttyä Fortum luovutti työmaan takaisin VTT:lle 2.5.2024. Luovutuksen yhteydessä sovittiin joistakin jäljellä olevista töistä, jotka Fortum viimeisteli myöhemmin siinä vaiheessa, kun ne olivat mahdollisia jätekuljetusten edettyä riittävästi.

### Vaihe 2: reaktorin sisäosat

Reaktorin sisäosien purkuun kuului voimakkaimmin aktivoituneiden komponenttien käsittely ja se toteutettiin kesäsyyskuussa 2023. Purettaviin sisäosiin kuuluivat reaktorialtaan polttoainetelineet, kryostaattiputki, neutroniradiografiaputki, keskussäteilytysputki, säätösauvat ja niiden jatkovarret ja ohjausputket, instrumentointirengas, säteilytysrengas ja reaktorisillan runko, ylä- ja alahilalevyt, sydämen säteilytetyt grafiittielementit sekä



*Kuva 2. Purkusilta asennettuna ja käyttövalmiina sekä käytössä purkutöiden aikana (kuva: VTT).*



Kuva 3. Heijastimen laatikon pakkaus ja hiekkätäyttö. Heijastin oli yksi lukuisista ydinmateriaalivalvonnan alaisista osista, joten sen pakkaaminen loppusijoitettavaksi dokumentoitiin tarkasti ja pakkaamisen ajankohta annettiin ennakkoon tiedoksi STUKille mahdollista valvontakäyntiä varten (kuva: VTT).

Kuva 4. Biologisen suojan aktivoituneesta betonista irti sahattu blokki ennen sen muovittamista, karakterisointia ja pakkaamista loppusijoituskonttiin. Aktivoituminen johtuu suihkuputkesta (näkyvä reikä), jota pitkin neutroneja on johdettu reaktorisydäimestä tutkimuskäyttöön, jolloin niitä on päässyt myös syvemmälle betoniin (kuva: VTT).

grafiittiheijastin. Tähän työvaiheeseen sisältyivät myös käytetyn polttoaineen kuivasiilon tyhjennys, aktiivisten metalliosien pakkaaminen säteilysuojaan sekä reaktoritankin tyhjentäminen sekä tankin sisäpuolisen primääripiirin putkiston ja valaisimien purkaminen.

Työssä käytettiin erityisesti suunniteltua reaktoritankin yläpuolelle asennettua purkusiltaa, jossa oli säteilysuojauksia, manipulaattoreita, vinssi, työkaluja ja kame-roita. Purkusilta poistettiin käytöstä, kun työvaihe oli saatu päätökseen.

#### Vaihe 5: biologinen suoja

Biologisen suojan purkaminen oli tunnistettu kontaminaation hallinnan kannalta haasteellisimmaksi vaiheeksi. Vaihe alkoi lokakuussa 2023 ja valmistui huhtikuussa 2024. Betonisesta suojasta poistettiin sydämen, suihkuputkien ja BNCT-aseman ympäristössä sijainneet aktivoituneet alueet timanttivaijerisahaamalla ja piikkaamalla. Näin syntyi 16 kappaletta betoniblokkeja (4 kappaletta suihkuputkea kohti) sekä melko suuri määrä tynnyreihin pakattavaa ja tarpeen mukaan kiinteytettävää betonimurskaa ja sahauslietettä.

Betonin aktivoituneiden alueiden laajuus oli arvioitu laskennallisesti sekä paikallisilla näytteenotoilla ja suunnitelma oli laadittu pyrkien huomioimaan sopivassa suhteessa jätemäärän minimointi ja aktivoituneiden osien tehokas pois-

to. Laskennallisesti arvioitu purkulaajuus (aktivoituneen alueen raja) vastasi todellisuutta hyvin.

Purun toteutuksen aikana aktivoitumisrajaa lähestyttäessä siirryttiin nopeasta Brokk-robotilla piikkaamisesta tarkempaan manuaaliseen piikkaamiseen – jälkikäteän arvioiden ehkä tarpeettoman aikaisin. Näin kuitenkin saatiin jätemäärä minimoiduksi, sillä loppusijoitettavaan betoniin ei sekoitunut puhdasta betonimurskaa.

Vuorotellen piikkaamalla ja mittaamalla poistettiin lopulta useita betonikerroksia, ja biologisen suojan purkuvaiheen kesto pite ni tämän vuoksi useilla viikoilla. Purkutyön tehokkuuden ja jätemäärän minimoinnin välisen tasapainon löytäminen ei ole helppoa, kun lähtöoletukset ovat yleensä konservatiiviset.

Loppuvaiheen aktiivisuusmittaukset suoritettiin pitkälti ottamalla betonista pieniä näytteitä ja mittaamalla niistä Eu-152-nuklidin aktiivisuus VTT:n ISOCS-gammaspectrometrillä. Koska hyvin matala-aktiivisten näytteiden mittausaika jouduttiin käyttämään jopa 8 tuntia, näiden mittausten rinnalla tehtiin nopeita pelkkään pulssimäärään perustuvia gammamittauksia. Havaittiin, että keskenään samankaltaisille näytteille nämä tulokset korreloivat hyvin, joten pulssimäärämittauksilla pystyttiin tukemaan ja ohjaamaan purkutyötä lähes reaaliajassa. Menetelmää edelleen kehittämällä

siitä voidaan saada aikaa ja kustannuksia säästävää menettely myös suuremman mittaluokan purkuhankkeisiin.

Poistettut, sellaisenaan loppusijoitettavat betoniblokit pakattiin loppusijoitus-pakkauksina toimiviin 10 tonnin kontteihin. Karakterisoinnin tehostamiseksi osa niistä kuitenkin murskattiin tynnyreissä loppusijoitettavaksi. Neljässä blokissa oli sisällä teräksinen varjostinlevy, jotka myös eroteltiin, karakterisoitiin erikseen ja pakattiin samaan loppusijoituskonttiin aktivoituneen alumiinin kanssa. Kauimpana sydäimestä sijainneet neljä blokkaa voitiin vapauttaa valvonnasta niiden erittäin matalaksi todetun aktivoitumisen ansiosta.

#### Purkujätteet karakterisoitiin huolellisesti

Jätehuolto toteutettiin Loviisan voimalaitoksen jätehuoltomenettelyiden pohjalta, tutkimusreaktorin erityispiirteet huomioiden. Tutkimusreaktoreilla jätteen määrä on huomattavasti pienempi verrattuna kaupallisiin ydinvoimalaitoksiin, mutta jätteen laatu on huomattavasti moninaisempi. Loppusijoitettavaa jätettä kertyi lopulta noin 90 m<sup>3</sup>, josta määrällisesti suurin osa betonia sekä pehmeää huoltojätettä.

Purkutöiden jälkeen jätteet esilajiteltiin materiaalin, aktiivisuuden sekä nuklidivektorin mukaan omiin jättepakkaus-siinsa. Aktiivisuuslajittelun tavoitteena on

minimoida loppusijoitettavan jätteen määrä eli välttää puhtaiden jätteiden päätyminen loppusijoitukseen. Materiaalin mukainen lajittelu tehtiin pakkaustehokkuuden parantamiseksi sekä loppusijoitustilan hyväksymiskriteerien täyttämiseksi.

Projektia varten luotiin yhteensä 13 kappaletta nuklidivektoreita, joita hyödynnettiin jätepakkauskohtaisen inventaarin määrittämisessä. Suurin osa jätteistä pyrittiin pakkaamaan 200 litran terästynnyreihin, jotka karakterisoitiin ISOCs-gammaspektrometrillä. Suurimmat puretut komponentit karakterisoitiin joko gammaspektrometrisesti tai näytteenotolla ennen pakkaamista projektia varten suunniteltuihin 10 tonnin jätekontteihin.

Lopuksi jätteet dokumentoitiin ja jätteen hyväksymiskriteerien täyttymisen osoittamisen jälkeen jätteet lähetettiin Loviisaan loppusijoitettavaksi. Jätteiden vastaanoton jälkeen Loviisan loppusijoitustilassa niille suoritettiin vastaanotto-tarkastus, jonka jälkeen jätteiden huolehtimisvelvollisuus siirrettiin VTT:ltä Fortumille kuormakohtaisesti.

Suurin osa jätehuollosta suoritettiin Fortumin olemassa olevien käytäntöjen mukaisesti, ja työ vastasi Loviisan laitoksen rutiinivaikeuksia. Osa jätteistä vaati kuitenkin erityismenettelyitä jätteen kemiallisten tai radiologisten ominaisuuksien tai poikkeavan geometrian vuoksi. Osa komponenteista koostui useammasta eri materiaalista, jolloin niiden aktiivisuusinventaarin määrittämiseen täytyi soveltaa useampaa eri nuklidivektoria sekä muita

normaaleista poikkeavia tapoja. Lisäksi monet reaktorin sisäosat oli luokiteltu muuksi ydinmateriaaliksi, joka tuli poistaa ydinmateriaalikirjanpidosta ennen loppusijoittamista.

### Valvonnasta vapauttaminen

Loppusijoitettavan jätteen lisäksi purkujätettä voitiin vapauttaa valvonnasta siltä osin kuin purettavat järjestelmät ja rakenteet eivät olleet aktivoituneet tai kontaminoituneet yli vapauttamisrajan tai ne onnistuttiin dekontaminoimaan. Valvonnasta vapautuksessa käytettiin ohjeen YVL D.4 mukaista yleistä menettelyä rajoittamattomille materiaalimäärille, silloin kun voitiin osoittaa kyseisen ohjeen liitteen A rajojen alittuvan. Nämä erät voitiin toimittaa kiertettäväksi.

Melko suuria purkujättemääriä vapautettiin myös rajoitettujen materiaalimäärien vapauttamisrajoja käyttäen. Tällaiset erät toimitettiin kaatopaikalle haudattavaksi. Tietyille pienille erille (esimerkiksi palavat nesteet) käytettiin tapauskohtaisesti menettelyä, jossa materiaalien vastaanottaja ja huoltomenetelmä on määriteltävä ja aktiivisuusrajat asetetaan tapauskohtaisen harkinnan perusteella. Kaiken kaikkiaan valmistelu- ja purkuvaiheen aikana vapautetun materiaalin määrä oli noin 300 tonnia, josta noin 250 tonnia koostui BNCT-hoitoaseman muodostaneista raskasbetonipalkeista.

Käytöstäpoiston tavoitteena oli laitoksen valvonnasta vapauttaminen

rajoittamattomaan käyttöön. VTT luovuttaa rakennukset takaisin niiden omistajalle Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:lle (kuva 5). Rakennusten tuleva käyttö riippuu Otaniemen tiedeyhteisön tarpeista eikä ole vielä vahvistunut.

Laitosalueen valvonnasta vapauttamisen mittaukset aloitettiin välittömästi purkuvaiheen valmistuttua, ja ne saatiin päätökseen syyskuussa 2024. Mittauksissa löydettiin vielä muutamia eri syistä kontaminoituneita kohteita, jotka puhdistettiin. VTT on toimittanut STUKille mittausraportin ja hakemuksen laitoksen valvonnasta vapauttamiseksi. Käytöstä poistamisen ja käyttöluvan lakkauttamisen viimeiset vaiheet ovat vielä kesken.

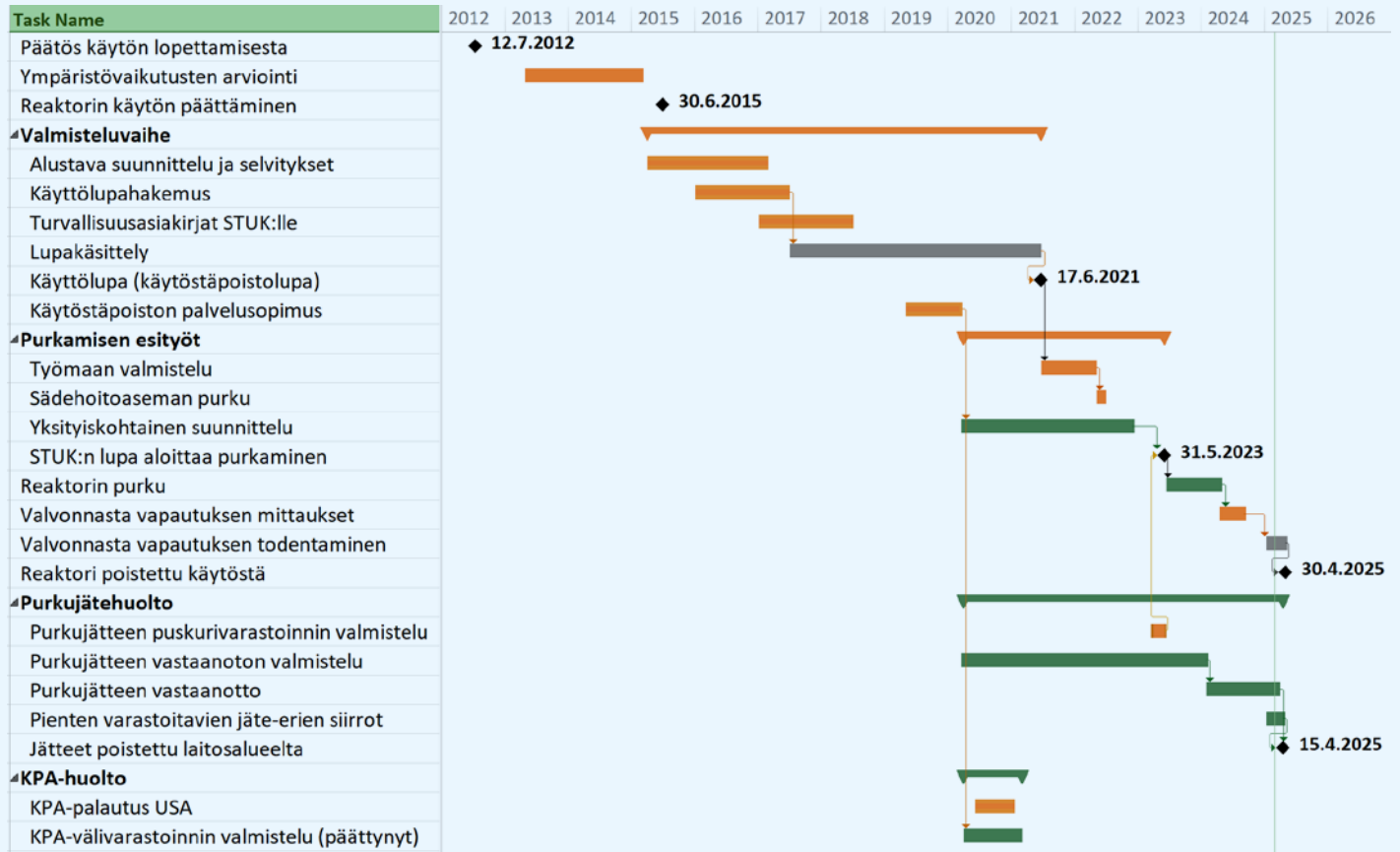
### Käyttökokemustoimintaa purkuvaiheessa

Ydinlaitoksen turvallisuuden ja luotettavan toiminnan yhtenä keskeisenä edellytyksenä on, että omista ja muiden laitosten käyttökokemuksista opitaan. Tavoite on ennaltaehkäistä onnettomuuksia ja muita turvallisuuden kannalta merkittäviä epäsuotuisia tapahtumia selvittämällä ja poistamalla vikoihin, puutteisiin ja poikkeamiin johtaneita tekijöitä, sekä korostamalla omassa laitoksessa ja muualla hyviksi osoittautuneita menettelytapoja.

FiR 1:llä käyttötapahtumien hallinnan menettelyt päivitettiin käytöstäpoistovaihetta varten, jotta tapahtumista saadut opit saatiin käyttöön mahdollisimman nopeasti ja ilman raskaita prosesseja.



Kuva 5. FiR 1 -reaktorirakennus Otaniemen kampuksella ennen purkuvaiheen alkua. Yksi reaktorin kolmesta pienestä jäähdytystornista näkyy aivan kuvan oikeassa reunassa viereisellä katolla (kuva: VTT).



Kuva 6. Käytöstäpoiston yleistasoinen kokonaisaikataulu (kuva: VTT).

Menettely perustui siihen, että VTT:llä ja Fortumilla kerätään kaikesta toiminnasta systemaattisesti eri tasoisia, myös positiivisia, turvallisuushavaintoja.

Otakaari 3 -kiinteistössä työskentelystä kertyi yhteensä 112 turvallisuushavaintoa vuosien 2016–24 aikana. Niistä käyttötahtumiksi luokiteltiin sellaiset tapahtumat, viat, puutteet ja ongelmat, joilla on merkitystä ydinturvallisuudelle tai säteilyturvallisuudelle. Käyttötapahavaintoja kertyi yhteensä 19 kpl. Luokittelu tehtiin matalalla kynnyksellä. VTT toimitti näistä matalalla kynnyksellä tiiviit käyttötapahavaintomaratit STUKille tiedoksi, jotta kokemusta käytöstäpoistovaiheen todellisista riskeistä saatiin levitettyä laajemmin myös organisaatioiden välillä.

Käyttötapahavaintojen käsittelyyn kuuluivat juurisyyn arviointi, korjaavien toimenpiteiden määrittely ja niiden vaikuttavuuden seuranta FIR 1:n turvallisuuslautakunnassa, joiden lisäksi tapahtumista dokumentoitiin muun muassa ajankohta, kuvaus, tehdyt ilmoitukset vastuulliselle johtajalle ja STUKille sekä välittömät korjaavat toimet.

### Käytöstäpoiston aikataulu, kustannukset ja taloudellinen varautuminen

Kuva 6 esittää käytöstäpoiston yleistasoinen kokonaisaikataulun. Erityisesti valmistelu- ja luvitusvaiheet kestivät huomattavasti kauemmin kuin alun perin, esimerkiksi YVA-selostuksessa, oli arvioitu. Viiveiden tärkeimmät syyt olivat:

- Esiselvitysten, suunnittelun ja purkamisen ja työmäärien aliarviointi siinä vaiheessa, kun kaikkia sovellettavia vaatimuksia ja huomioitavia yksityiskohtia ei vielä osattu tunnistaa. Oppina on todettava, että uuden tyyppisiä projekteja ensimmäistä kertaa tietyssä luvitusympäristössä toteutettaessa on syytä käyttää epävarmuuskertoimille huomattavan suuria arvoja.
- Sitovien ydinjätehuollon sopimusten vaatimien ennakkoselvitysten suuri määrä. Projektissa toteutettiin ensimmäistä kertaa Suomessa ydinjätteen huolehtimisvelvollisuuden siirto, ja se tehtiin merkittävän sähköntuotantolaitoksen toiminnan ohessa kau-

palliselta pohjalta, joten riskienhallintaan panostettiin paljon. Siirtoon liittyi epävarmuuksia muun muassa tutkimusreaktorin pitkän käyttöhistorian vaiheista ja mahdollisesti puutteellisesta dokumentaatiosta, jätteen tarkasta koostumuksesta, mukaan lukien tehoreaktoreista poikkeavat radionuklidit, ja ydinvastuusta purkamisen, kuljetusten ja loppusijoituksen aikana.

- Useiden erityyppisten lupien ja hyväksyntöjen tarve tietyn luvanvaraisen toiminnan aloittamiseksi. Esimerkiksi VTT:n jätteiden siirto Loviisan matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilaan edellytti valtioneuvoston myöntämän päivitetyn käyttölupa lisäksi pitkäaikaisturvallisuusanalyysin ja Loviisan voimalaitoksen sisäisten ohjeiden päivystä, erittäin perusteellisten pakkauskohtaisten karakterisointiraporttien laadintaa ja hyväksyntää sekä OK3:n radioaktiivisen jätteen vastaanottamiseksi myös loppusijoituslaitoksen säteilylain mukaisen turvallisuusluvan uusimista.

- Käytetyn ydinpolttoaineen palautusohjelman viiveet, joiden vuoksi vuosina 2015–20 VTT:n ei ollut mahdollista keskittyä yhden vahvistetun suunnitelman toteuttamiseen vaan pitkän aikaa jouduttiin pitämään yllä rinnakkaisia skenaarioita. Tämä työ ei kaikilta osin edistänyt lopullista projektin toteutuspolkua.

Samat syyt nostivat myös käytöstäpoiston ja ydinjätehuollon kustannukset huomattavasti korkeammiksi kuin aikanaan reaktorin käytön aikana oli arvioitu. Käytöstäpoiston kokonaiskustannusarvio on 25,3 miljoonaa euroa vuosille 2012–25.

Varsinaisten purku- ja ydinjätehuollon kustannusten lisäksi summa sisältää myös kaikki taustaselvitykset ja pakollisen menetelmäkehityksen sekä reaktorin ylläpitoon liittyvät kustannukset kuten luvitettujen organisaation palkat yleiskus-

tannuksineen, vuokrat, arvonlisäverot ja viranomaismaksut. Kun toteutuneita kustannuksia käytetään esimerkiksi kansainvälisissä vertailuissa tai kotimaisten tehoreaktorien käytöstäpoiston kustannusarvioinnin apuna, vertailukelpoisuuden varmistamiseksi on tarpeen käyttää kustannusten tarkempaa erittelyä.

Ydinenergialain mukaisesti VTT päivitti käytöstä poistamisen ja ydinjätehuollon kustannusarvion vuosittain, ja arvioiden perusteella TEM määräsi VTT:n vastuumäärät ja rahastotavoitteet valtion ydinjätehuolto-rahastossa (VYR). VTT:n rahasto-osuus VYR:ssä oli suurimmillaan 23,555 miljoonaa euroa vuonna 2019. Tämän jälkeen VYR on suorittanut VTT:lle palautuksia sen mukaisesti, kuin VTT on osoittanut jäljellä olevien ydinjätehuollon vastuidensa pienentyneen. Vuoden 2025 rahastotavoitteeksi on vahvistettu 604 000 euroa, joka vastaa vielä

jäljellä olevien toimenpiteiden arvioitua kustannuksia vuoden 2025 alusta eteenpäin.

## Lopuksi

FiR 1 -tutkimusreaktori on auttanut monivaiheisen historiansa aikana muun muassa kuukivien tutkimuksessa, kullin etsinnässä, syöpähoidoissa ja ennen kaikkea toiminut keskeisenä ydinenergian koulutus- ja tutkimustyön laitoksena. VTT ja Fortum ovat nyt osoittaneet, että suomalaisella osaamisella voitiin toteuttaa reaktorin käytöstäpoisto Otaniemen kamppuksella turvallisesti. Tutkimusreaktori toimi pilottina vielä purkuvaiheessaankin valmistaen suomalaisia ydinenergia-alan yhtiöitä ja viranomaisia myöhemmin tulevaisuudessa alkavaan ydinvoimalaitosten reaktorien käytöstäpoistoon.

## VIITTEET

- [1] <https://cris.vtt.fi/en/projects/decommissioning-of-fir-1-research-reactor>  
 [2] <https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/fir-1-ydinreaktorin-kaytosta-poisto>  
 [3] <https://tem.fi/tutkimusreaktorin-kaytostapoisto>

## KIRJOITTAJAT



**TKT Markus Airila**  
 Tiimipäällikkö, vanhempi projektipäällikkö (IPMA B)  
 Teknologian tutkimuskeskus  
 VTT Oy  
[markus.airila@vtt.fi](mailto:markus.airila@vtt.fi)



**FT Antti Rätty**  
 Erikoistutkija  
 Teknologian tutkimuskeskus  
 VTT Oy  
[antti.ratty@vtt.fi](mailto:antti.ratty@vtt.fi)



**FT Petri Kotiluoto**  
 Tiimipäällikkö  
 Teknologian tutkimuskeskus  
 VTT Oy  
[petri.kotiluoto@vtt.fi](mailto:petri.kotiluoto@vtt.fi)



**DI Ville Oinonen**  
 Senior Engineer, Nuclear  
 Decommissioning & Waste  
 Fortum Power and Heat Oy  
[ville.oinonen@fortum.com](mailto:ville.oinonen@fortum.com)

# SÄTEILYTURVALLISEMPI PURKUTYÖMAA

Tommi Kekki<sup>1</sup>, Maria Lindholm<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, <sup>2</sup>Fortum Power and Heat Oy

Säteilyturvallisuus oli keskeinen osa FiR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoistoa. Yhdessä VTT ja Fortum suunnittelivat ja toteuttivat säteilysuojelujärjestelyt. FiR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoisto toteutettiin vaatimusten mukaisesti varmistaen työntekijöiden ja ympäristön turvallisuuden koko purkuvaiheen ajan.

Radiation safety was a key part of the decommissioning of the FiR 1 research reactor. Together, VTT and Fortum designed and implemented the radiation protection arrangements. The decommissioning of the FiR 1 research reactor was carried out in accordance with requirements, ensuring the safety of workers and the environment throughout the decommissioning phase.

**F**iR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoiston aikana VTT vastasi turvallisuudesta ja viranomaisyhteistyöstä sekä säteilyturvallisuudesta purkutyömaalla. Vuonna 2020 alkaneessa suunnitteluvaiheessa Fortum laati säteilysuojelusuunnitelman, jossa esitettiin purkuvaiheen säteilysuojelun toteutus. Suunnitelmaan sisältyi ALARA-toimenpideohjelma, joka asetti tavoitteet säteilyaltistuksen vähentämiseksi ja kontaminaation hallinnalle. Suunnitteluvaiheessa luotiin myös säteilysuojeluohjeet organisaation toiminnan ohjaamiseksi kattaen tilojen luokittelun, säteilyolosuhteiden seurannan, säteilymittareiden tarkastukset ja työskentelyn valvonta-alueella.

## Säteilyturvallisuuden huomiointi suunnitteluvaiheessa

Säteilysuojelujärjestelyiden suunnittelussa otettiin huomioon ydinenergialain, säteilylain sekä YVL-ohjeiden vaatimukset. Säteilyturvallisuuden näkökulmas-

ta merkittävimmät YVL-ohjeet olivat YVL C-sarjan ohjeet, kuten ohje YVL C.1 rakenteellisesta säteilyturvallisuudesta, ohje YVL C.2 työntekijöiden säteilysuojelusta ja säteilyaltistuksen seurannasta, ohje YVL C.3 radioaktiivisten päästöjen rajoittamisesta ja valvonnasta sekä ohje

YVL C.4 ympäristön säteilyvalvonnasta. Suunnitteluvaiheessa VTT arvioi yhdessä Fortumin kanssa vaatimuksien toteutumista osana purkuvaiheen säteilysuojelujärjestelyiden suunnittelua.

Suunnitteluvaiheen aikana Fortum suunnitteli aktiivisimmille komponenteille (säteilytysrenkas, heijastin ja aktivoituneet pienosat) lisäsäteilysuojat (Kuva 1). Lisäksi Fortum laati MCNP-analyysseja, joissa tarkasteltiin säteilyaltistuksen kannalta merkittävimmistä komponenteista tai rakenteista aiheutuvia säteilykenttiä eri työvaiheiden aikana (Kuva 2).

Analyysien perusteella arvioitiin tarvittaessa FiR 1 -tutkimusreaktorin reaktorihallin rakenteiden vahvistamiselle säteilysuojauksilla ja aktiivisimmille komponenteille suunniteltujen säteilysuojauksien riittävyyttä. Analyysien perusteella päädyttiin vahvistamaan FiR 1 -tutkimusreaktorin valvonta-alueella sijaitsevaa varastointialuetta. Lisäksi analyysien tuloksia hyödynnettiin eri työvaiheiden työvaiheiden säteilysuojelutoimenpiteiden suunnittelussa.

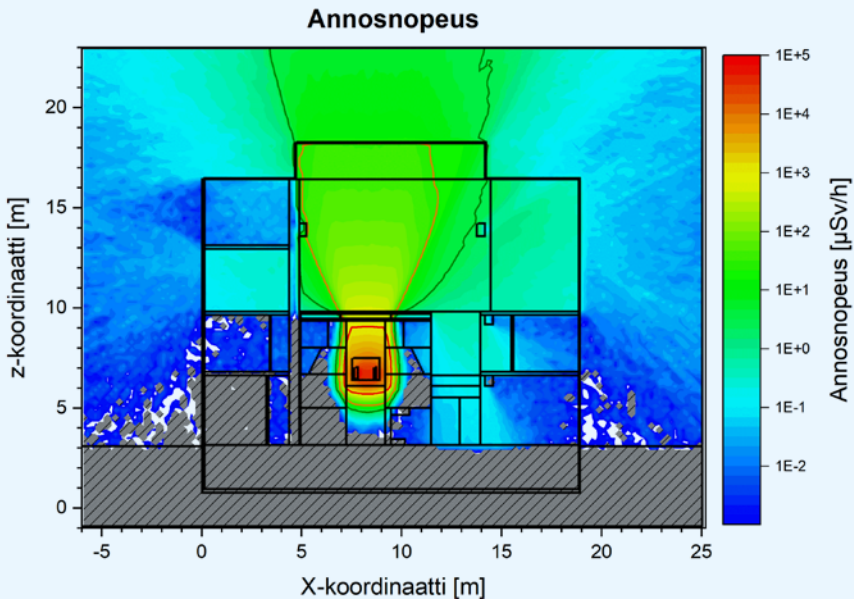
Tunnistettujen riskien vuoksi reaktorin sisäosien, BNCT-keilarakenteiden sekä biologisen suojan, suihkuputkien ja reaktoritankin purkamista käsittelevät työvaiheet sisälsivät tarkemmat työvaihekohtaiset säteilysuojelusuunnitelmat. Suunnitteluvaiheessa Fortum myös arvioi työntekijöiden säteilyannoksen perustuen työvaiheisiin sekä analyysien perusteella arvioitiin säteilytasoihin työkohteissa.

## Uusien säteilysuojelujärjestelyiden jalkauttaminen

Valmisteluvaiheessa FiR 1 -tutkimusreaktorin purkutyömaa valmisteltiin varsinaisia purkutöitä varten. Säteilyturvajärjestelyjen kannalta merkittävimmät muutokset olivat uuden kenkäräjän käyttöönotto ja valvonta-alueen uudistukset. Purkuvaiheen ajaksi valvonta-alueeksi määritettiin reaktorihal-



Kuva 1. Käytöstäpoistettujen aktiivisimpien komponenttien säteilysuojat (kuva: Emma Elimäki, Fortum).



Kuva 2. Heijastin reaktoritankissa nostettuna vedenpinnan yläpuolella. Kuvassa esitetty pystyleikkaus säteilytasoista heijastimen noston yhteydessä perustuen MCNP-analyyysien tuloksiin [1].

li ja sen aula, jonka viereen rakennettiin siirrettävistä työmaakonteista koostuva sisäänkulkurakennus. Tässä rakennuksessa sijaitsivat pääkenkäräja ja valvonta-alueelta poistuvien työntekijöiden kontaminaatiomittaus (PRE- ja EXIT-henkilömonitorit) sekä pukuhuoneet.

PRE- ja EXIT-henkilömonitorien käyttöönotto kesti noin viikon, minkä aikana



Kuva 3. PRE-henkilömonitorin käyttöönotto (kuva: Maria Lindholm, Fortum).

henkilömonitorit koottiin, kalibroitiin ja niille suoritettiin laiteomittajan edellyttämät käyttöönottotestit (Kuva 3). Lisäksi reaktorihallin aulaan sijoitettiin säteilyvalvonnan päivystyspiste. Aulassa sijainneet sosiaalililat muutettiin puhdistustilaksi mahdollisia henkilödekontaminoiteja varten sekä säteilysuojelun valvonta-alueen varastoksi, jonne sijoitettiin säteilyvalvonnan mittalaitteet ja valvonta-alueella varastoitavat suojarusteet.

Ympäristön säteilyturvallisuus varmistettiin rakentamalla lisäsuojia voimakkaammin säteilevien pakkausten välivarastointipaikan ympärille. Valvonta-alueen poistoilma oli suodatuksella purkuvaiheiden aikana, ja poistoilmakanavaan sijoitettiin jatkuvatoiminen aktiivisuusmittaus. Lisäksi vesipäästöjen aktiivisuus määritettiin ennen luvitettua päästöä.

Valmisteluvaiheeseen sisältyi myös FiR 1 -tutkimusreaktorin työntekijöiden koulutus muuttuneiden säteilysuojajärjestelyiden osalta. Tämä oli osa työmaan perehdytys- ja tulokoulutusta. Koulutukseen sisältyi sekä luokkahuonekoulutusta että käytännön opetusta uusista järjestelyistä. Siinä käsiteltiin muun muassa perustietoa säteilystä, valvonta- ja tarkkailualueella työskentelyä sekä säteilyltä suojautumisen perusteita. Koulutuksen tavoitteena oli lisätä ymmärrystä siitä, miten jokainen voi omalla toiminnallaan vaikuttaa omaan sekä muiden työntekijöiden ja ympäristön säteilyturvallisuuteen. Koulutus oli edellytys purkuvaiheen valvonta-alueen kulkuluville.

Ennen purkuvaiheeseen siirtymistä valvonta-alueella työskenteleville työntekijöille järjestettiin kokokehomittaus, jossa määritettiin kehon sisältämä radioaktiivisuus. Mittaus toteutettiin STUKin mittausautossa ja se uusittiin myöhemmin.

Valmisteluvaiheen aikana FiR 1 -tutkimusreaktorin säteilysuojelujärjestelyistä vastasi VTT. Valmisteluvaiheen päättyessä STUK suoritti valvonta-alueeseen liittyvän velvoittavan tarkastuksen, minkä jälkeen valvonta-alueen muutokset astuivat voimaan. Vastuu säteilysuojelujärjestelyiden operatiivisesta toteutuksesta siirtyi Fortumille.

## Purkutyömaan säteilyturvallisuuden varmistaminen

FiR 1 -tutkimusreaktorin purkuvaiheessa Fortum huolehti operatiivisen säteilysuojelun toteutuksesta, valvonta-alueen säteilymittauksista, väliaikaisten lisäsäteilysuojien rakentamisesta, kontaminaation hallinnasta, suojarusteiden huollosta, laitteiden ja työkalujen dekontaminoinnista sekä valvonta-alueen puhtaanapidosta. VTT vastasi annostarkkailun järjestämisestä (TL- ja elektronisen dosimetrijärjestelmän hankinta, käyttö ja ylläpito), säteilyvalvontajärjestelmistä, ympäristön säteilyvalvonnasta ja valmiustoiminnasta.

Purkuvaiheen säteilysuojeluorganisaation muodostivat VTT:n säteilyturvallisuuksivastaava ja hänen varahenkilönsä, jotka vastasivat säteilysuojeluorganisaation toiminnasta. Säteilyturvallisuuksivastaavan tehtävänä oli huolehtia luvanhaltijan apuna säteilysuojelun toteuttamisesta ja säteilyturvallisuuden varmistamisesta. Säteilysuojeluorganisaatioon kuului sekä VTT:n että Fortumin säteilyturvallisuuksiantuntijat, joiden tehtävänä oli osallistua työntekijöiden ja väestön säteilysuojelun suunnitteluun, toteutukseen ja seurantaan. Fortumin säteilyturvallisuuksiantuntija huolehti lisäksi henkilömonitorien huollosta ja kalibroinnista.

Säteilysuojeluorganisaatioon kuului myös Fortumin säteilysuojelusuunnittelija ja säteilyvalvoja. Säteilysuojelusuunnittelijan tehtävänä oli varmistaa ja valvoa säteilysuojelumenetelmien ja -ohjeiden toteuttamista purkutyömaalla sekä säteilyvalvojan tukeminen purkutyömaalla tarpeen mukaan. Säteilyvalvojan tehtäviin kuului säteilyturvallisuuden valvominen, säteilysuojeluohjeiden toteuttaminen, osallistuminen eri työvaiheisiin, joissa edellytettiin säteilysuojelun läsnäoloa, säteilysuojelun toimenpiteiden suorittaminen sekä purkutyömaan toiminnan tukeminen. Pääsääntöisesti purkutyömaalla työskenteli yksi säteilyvalvoja.

Tarvittaessa purkutyömaalla oli myös toinen säteilyvalvoja, jos työkohteita oli yhtä aikaa käynnissä useampia tai ne sijoittuivat eri tiloihin.

Valvonta-alueella työskenneltiin perussuojavarustuksessa, johon kuului suoja-haalarin lisäksi valvonta-alueen työkengät, leukahihnallinen kypärä, silmien suojaimet sekä TL- ja elektroninen dosimetri. Perusvarustuksen lisäksi säteilysuojeluorganisaatio määrittä tarvittaessa erikseen soveltuvan lisäsuojavarusteen. Valvonta-alueen lisäsuojavarusteina käytettiin muun muassa kengänsuojia, kumi- ja kangaskäsineitä, hengityssuojaimia sekä lisähaalareita. Purkutyömaalla oli varattu tilat suojavarusteiden huoltoa varten.

Suurin osa käytöstäpoiston purkutöistä kohdistui suhteellisen matala-aktiivisten rakenteiden ja komponenttien käytöstäpoistoon. Työt voitiin suorittaa noudattamalla yleisiä valvonta-alueen työskentelyyn liittyviä käytäntöjä. Joissakin työvaiheissa käsiteltiin erittäin aktiivisia komponentteja tai työvaiheeseen liittyi korkea kontaminaation leviämisen riski. Säteilysuojelun näkökulmasta suuren riskin töitä olivat reaktorin sisäosien, BNCT-keilarakenteiden sekä biologisen suojan, suihkuputkien ja reaktoritankin purkamisen.

Reaktorin sisäosien purkamisessa suurimman säteilysuojelullisen riskin aiheutti aktivoituneiden sisäosien purku. Työvaiheisiin sisältyi purettujen komponenttien siirto suojaavan vesikerroksen alta omiin säteilysuojiinsa. Työvaiheiden aikana oli varauduttu korkeisiin säteilytasoihin työskentelyalueilla ja niiden läheisyydessä.

Reaktorin sisäosien purkamisen yhteydessä työmaalla tapahtui säteilyturvallisuuspoikkeama, jossa purkutöiden yhteydessä reaktoritankin pinta laski reaktorihalliin aiheutuneesta vuodosta johtuen. Purkutyömaalla oli varauduttu mahdolliseen vesivuotoon varaamalla reaktorirakennuksen 1. kerrokseen materiaaleja vuodonhallintaa varten ja niin sanotulla luukkuvahdilla. Purkuorganisaatio yhdessä säteilysuojeluorganisaation kanssa sai vuodon nopeasti hallintaan ja rajattua reaktorihalliin. Tapahtuman seurauksena työntekijöiden, työmaan tai ympäristön säteilyturvallisuus ei vaarantunut.

BNCT-keilarakenteiden purun yhteydessä tunnistettiin mahdollisuus korkeakohille säteilytasolle aktivoituneiden rakenteiden paljastuessa. Riskiä hallittiin lisäsäteilysuojauksilla (Kuva 4). Lisäksi purkuvaiheessa oli varauduttu BNCT-keilarakenteiden suureen tritiuminventariin. Työvaiheessa työntekijät käyttivät lisäsuojavarusteita, kuten tuplakäsineitä, joiden tarkoituksena oli estää tritiumin imeytyminen elimistöön ihon kautta. Lisäksi BNCT-keilarakenteiden purkamisessa purun ja näytteenoton suorittavat työntekijät olivat tritiumseurannassa. Tritiumseurannan perusteella työntekijät eivät saaneet tritiumaltistusta. BNCT-keilarakenteiden purkamisen sisälsi myös raskasmetallien (lyijy, vismutti) käsittelyä.

Biologisen suojan ja suihkuputkien purkamisen yhteydessä reaktoria ympäröineestä betonirakenteesta poistettiin alueet, joiden aktiivisuuden arvioitiin ylittävän sallitun arvon. Betonia poistet-

tiin reaktorin, suihkuputkien sekä BNCT-keilarakenteiden alueelta. Työ suoritettiin käyttämällä timanttiporausta, vaijerisahausta sekä piikkausta. Työvaiheessa kohonneilta säteilytasoilta suojautumisen lisäksi merkittävää oli kontaminaationhallinta. Työkohteiden ympärille rakennettiin teltat, jotka pidettiin alipaineisina ja joista poistettu ilma suodatettiin (Kuva 5). Lisäksi työskenneltäessä teltan sisäpuolella käytettiin lisäsuojavarusteita, kuten hengityssuojainta.

Käytöstäpoistojätteiden välivarastointi valvonta-alueen varastointinurkkauksessa vaati huomiota. Ilman asianmukaisia lisäsäteilysuojauksia varastoista jättepakkauksista olisi aiheutunut kohonneita säteilytasoja reaktorirakennuksessa ja rakennuksen ulkopuolella. Annosnopeustilanne tarkistettiin aina jätesierrojen jälkeen ja aktiivisten komponenttien siirtojen aikana.

Kontaminaation leviämisenriski sisältyi kaikkiin työvaiheisiin, joihin kuului rakenteiden tai komponenttien paloitteita. Purkuvaiheen töissä kiinnitettiin siten erityistä huomiota kontaminaation hallintaan. Kontaminaation hallinnan tavoitteena oli estää kontaminaation leviäminen yksittäisen työkohteen ulkopuolelle reaktorihalliin ja mahdollisesti valvonta-alueen ulkopuolelle.

Käytöstäpoistovaiheen päättyessä jäljellä oleville rakenteille suoritettiin valvonnasta vapautuksen mittaukset. Käytöstäpoistovaiheen jälkeen puhtaana pysyneiden pintojen kontaminoituminen purkutöiden seurauksena haluttiin välttää. Eri työvaiheita varten työmaalle oli rajattu lisäkenkära-

Kuva 4. BNCT-keilarakenteiden purku. Lisäkenkärajan sisällä sijainneen työkohteen ympärille oli rakennettu lisäsäteilysuojat. Keilarakenteen ulosvedon aikana seurattiin säteily-suojelun toimesta säteilytasoja (kuva: Markus Airila, VTT).



Kuva 5. Kontaminaation hallintaa varten rakennettu teltta (kuva: Emma Elimäki, Fortum).



joja, joiden sisällä käytettiin työvaiheen kontaminaatorisikiin sopivia suojavarusteita. Työvaiheiden jälkeen työskentelyalueet puhdistettiin ja niille suoritettiin kontaminaatiomittaukset ennen lisäkenkärajojen purkamista. Mittaustulokset osoittivat, että kontaminaatio pysyi hallinnassa.

Purkuvaiheen aikana henkilöliikennettä valvottiin PRE- ja EXIT-henkilömonitorilla. Valvonta-alueelta poistuttaessa ensimmäinen mittaus suoritettiin valvonta-alueen perussuojavarustuksessa. Puhtaan mittaustuloksen jälkeen suojavarusteet jätettiin niille varatuille paikoille ja suoritettiin mittaus EXIT-henkilömonitorilla, jolla varmistettiin, ettei ihon pinnalla, jalkapohjissa tai haalarin alla käytetyissä alusvaatteissa ollut ohjeen YVL C.2 esittämää pinta-kontaminaatorajaa ylittävää aktiivisuutta. Jälkimmäinen mittaus oli varustettu herkällä gammasäteilyä havaitsevilla säteilymittareilla, joiden avulla olisi saatu indikaatio mahdollisesta sisäisestä kontaminaatiosta. Radon aiheutti haasteita varsinkin PRE-henkilömonitorin mittauksissa, mikä työlisti purkuvaiheen aikana säteilysuojelua.

Valvonta-alueelta mukana tuotavalle tai uloskuljetettavalle materiaalille suoritettiin kontaminaatiomittaukset joko pääkenkärajalle sijoitetulla työkalumonitorilla tai säteilyvalvojan toimesta.

## Miten onnistuimme?

Purkuvaiheen aikana erityishuomiota kiinnitettiin koulutukseen, säteilyturvallisuuden seurantaan ja varmistamiseen, mikä näkyi tarkkoina valvontatoimenpiteinä. Purkutyöt suoritettiin säteilysuojeluohjeiden mukaisesti, ja säteilyvalvojat olivat jatkuvasti läsnä työmaalla valvomassa säteilytasoa ja opastamassa säteilyturvallisessa työskentelyssä. Purkamiseen osallistuneet purkutyöntekijät oli koulutettu käyttämään suojavarusteita ja noudattamaan säteilyturvallisuusohjeita. Lisäksi tritiumseurannalla ja kokokehommittauksilla varmistettiin tilanne ennen ja jälkeen kriittisten työvaiheiden. Seurannassa ei löytynyt merkkejä sisäisestä kontaminaatiosta.

FiR 1 -tutkimusreaktorin purusta aiheutunut kokokehoannos oli 3,46 manmSv. Annoksesta purkutyöntekijöiden osuus oli 3,23 manmSv, vuoropäälliköiden 0,12 manmSv ja säteilyvalvojen 0,11 manmSv. Suurin henkilöannos oli 1,55 mSv. Suurimmat työvaihekohtaiset annokset kirjattiin biologisen suojan purkuvaiheessa johtuen sen pitkästä kestosta ja purkulaajuudesta. Purkamisen ja jätteiden pakkaamisen lisäksi annosta kirjattiin jätteen karakterisoimiseksi tarvittavista näytteenotoista sekä jätteen karakterisoinnis-

sa. Kirjatut säteilyannokset olivat noin 1/3 suunnitteluvaiheen annosarvioista.

Rakennuksen valvonnasta vapauttamisen mittaukset aloitettiin välittömästi purkuvaiheen valmistuttua. Mittaukset saatiin päätökseen syyskuussa 2024. Mittauksien yhteydessä löydettiin pieniä kohteita, jotka todettiin kontaminoituneiksi ja puhdistettiin.

FiR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoiston ympäristön loppukartoitus tehtiin syys-lokakuussa 2024. Loppukartoituksessa kerättiin samat ympäristönäytteet kuin perustilakartoituksessa. Tuloksia verrattiin alkukartoituksen tuloksiin. Tulokset osoittivat, että FiR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoistosta ei ole aiheuttanut ympäristöön keinotekoisien radionuklidien leviämistä.

Yhteenvedon voidaan todeta, että säteilysuojelu onnistui hyvin varmistuen työntekijöiden ja ympäristön turvallisuuden koko purkuvaiheen ajan. Yhteistyö kaikkien toimijoiden kanssa oli sujuvaa ja säteilyturvallisuus oli keskeinen osa kaikkea suunnittelua ja toimintaa. FiR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoistosta saatuja oppeja voidaan jatkossa hyödyntää säteilyturvallisemman purkutyömaan suunnitelmissa.

## VIITTEET

[1] P. Nieminen, 2022. FiR 1 Käytöstäpoisto: MCNP-laskenta. Fortum Power and Heat Oy.

## KIRJOITTAJAT



**FM Tommi Kekki**  
Senior Scientist

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
tommi.kekki@vtt.fi



**FM Maria Lindholm**  
Leading Senior Expert

Fortum Power and Heat Oy  
maria.lindholm@fortum.com

# SYP2025 – Suomalaisen Ydintekniikan Päivät 21.–22.10.

SYP2025-konferenssi järjestetään Espoossa kongressikeskus Hanaholmenissa 21.–22.10.2025. Kansainvälinen konferenssi kokoaa yhteen ydintekniikan alan teollisuuden, tieteen, tutkimuksen ja viranomaisnäkökulman. Ohjelma rakentuu tieteellisistä ja yleistajuisemmista teknisistä esityksistä. Konferenssi korvaa tänä vuonna perinteisen syysseminaarin.

Tapahtuman yhteydessä järjestetään SYP2025 Exhibition.



## Alan johtavat Key Note -puhujat

Ohjelman teemana ovat ydinenergian ekosysteemit. Konferenssin ohjelmapuheet ottavat kantaa päivänpolttaviin kysymyksiin, joiden keskiössä ydinenergiakin on. Teollisuus, yliopistot ja tutkimusyksiköt ovat mukana tieteellisen osuuden esityksissä. Saamme kuulla alan viimeisimpiä tutkimustuloksia.

## Ensimmäiset vahvistetut Key Note -puhujat



Jussi Heinonen  
STUK



Petra Lundström  
Fortum



Mika Finska  
Business Finland

## ➔ Ilmoittautuminen ja konferenssi-paperien vastaanotto 31.3. alkaen.

Viimeisimmät tiedot ohjelmasta ja ilmoittautumisesta päivitetään konferenssin nettisivuille: [ats-fns.fi/syp2025](https://ats-fns.fi/syp2025)

### Hintaan sisältyy

- Konferenssin sisäänpääsy, lounaat ja kahvit molempina päivinä
- FinNuclear ry:n järjestämä SYP2025 Exhibition
- Konferenssi-illallinen tiistaina 21.10.

# TURVALLISUUSKULTTUURIN JATKUVA PARANTAMINEN FIR 1 -KÄYTÖSTÄPOISTOSSA

Kaupo Viitanen, Merja Airola, Petri Kotiluoto, Markus Airila  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Käytöstäpoiston turvallinen toteutus edellyttää hyvää turvallisuuskulttuuria ja sen jatkuvaa parantamista. VTT kehitti FIR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoistoa varten turvallisuuskulttuurin kehittämisohjelman ja toteutti säännöllisiä turvallisuuskulttuuriarvioita. Tässä artikkelissa kuvaamme VTT:n turvallisuuskulttuurin edistämisen käytäntöjä ja niiden vaikuttavuutta tapausesimerkkien kautta.

The safe implementation of decommissioning requires a good safety culture and its continuous improvement. VTT developed a safety culture development programme and carried out regular safety culture assessments during the decommissioning of FIR 1 research reactor. In this article, we describe VTT's practices for facilitating a good safety culture and examine their effectiveness through illustrative examples.

**K**äytöstäpoistossa ydinlaitos siirtyy ruutiinomaisesta käyttövaiheesta jatkuvaan muutokseen: laitoskonfiguraatio ja riskiprofiili muuttuvat, samoin kuin ihmisten ja organisaatioiden tehtävät. Käytöstäpoiston edetessä ydinturvallisuusvaarat poistuvat ja säteilyvaarat muuttuvat, mutta työturvallisuusriskit voivat lisääntyä. Vaarat voivat myös muuttua odottamattomammiksi. Käytöstäpoistoon liittyy usein alihankijaverkosto, mikä monimutkaistaa yhteistyötä ja johtamista. Tämä jatkuva muutos luo uusia haasteita myös turvallisuuskulttuurille.

Turvallisuuskulttuurilla tarkoitetaan organisaation ja sen jäsenten jakamia, turvallisuuteen liittyviä toimintatapoja,

rakenteita, asenteita ja oletuksia [1]. Hyvään turvallisuuskulttuuriin kuuluu esimerkiksi turvallisuusjohtajuus, avoin viestintä ja tiedonkulku, luottamus, ohjeiden noudattaminen, konservatiivinen päätöksenteko, ja jatkuvan parantamisen periaate [2].

Nykyisin turvallisuuskulttuuri on keskeinen osa ydinturvallisuuden varmistamista. Suomessa hyvää turvallisuuskulttuuria vaaditaan kaikilta ydinlaitoksen erielinkaaren vaiheisiin osallistuvilta organisaatioilta (STUK määräys Y/1/2018) [3]. Tässä artikkelissa tarkastelemme, millä tavalla VTT:llä edistettiin turvallisuuskulttuurin jatkuvaa parantamista FIR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoistossa.

## Turvallisuuskulttuurin kehittämisen alkuvaiheet

Päätös FIR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoistoon ryhtymisestä tehtiin jo vuonna 2012. Osana valmistautumista käytöstäpoistoon toteutettiin ympäristövaikutusten arviointi vuosina 2013–2015. Reaktoria käytettiin tämän ajan edelleen muun muassa teollisuusmittauksissa merkkiaineena käytettävien radionuklidien tuotantoon.

Reaktori sammutettiin pysyvästi kesäkuussa 2015. Samoihin aikoihin ajoittui Säteilyturvakeskuksen YVL-ohjeiden uudistus. Uudet YVL-ohjeet astuivat voimaan 1.12.2013 alkaen koskien uusia ydinlaitoksia. Rakenteilla oleville ja käyville ydinlaitoksille (kuten FIR 1 tuossa vaiheessa) ohjeet saatettiin myöhemmin voimaan erillisillä Säteilyturvakeskuksen täytäntöönpanopäätöksillä.

FIR 1 -tutkimusreaktoriin on vähäriskisenä ydinlaitoksena aina sovellettu suhteellisuusperiaatetta (IAEA *graded approach*). Suhteellisuusperiaate huomioiden uusien YVL-ohjeiden soveltuvuuden arviointi FIR 1:n käyttöön ja käytöstäpoistoon olikin monivaiheinen prosessi. Vain osaa uusista YVL-ohjeista ja näiden vaatimuksista Säteilyturvakeskuksen päätöksellä lopulta sovellettiin tutkimusreaktoriin. Sovellettavien vaatimusten osalta VTT teki luvanhaltijana kattavat arviot ohjeiden vaatimusten täyttymisestä.

Yksi tutkimusreaktoriin sovellettavista uusista YVL-ohjeista on ollut YVL A.3 "Turvallisuuden johtaminen ydinalalla", joka lopullisen Säteilyturvakeskuksen täytäntöönpanopäätöksen mukaisesti astui voimaan FIR 1 -tutkimusreaktorille 1.1.2016, korvaten aikaisemman ohjeen YVL 1.4. Merkittävimmät ohjeen YVL A.3 muutokset liittyivät prosesseja, hankintoja ja projektinhallintaa koskeviin vaatimuksiin. Osana täytäntöönpanoa VTT oli omassa arviossaan esittänyt, että uuden ohjeen vaatimusten täyttämiseksi on tarpeen laatia turvallisuuskulttuurin kehittämissuunnitelma, jollaisen VTT sitten laatikin.

Säteilyturvakeskuksen YVL-ohjeiden voi näin nähdä kirittäneen tutkimusreaktorin turvallisuuskulttuurin parantamista. Turvallisuuskulttuurin kehittämissuunnitelma on osoittautunut toimivaksi ja tärkeäksi työkaluksi puhtaasti VTT:n omastakin näkökulmasta. Säteilyturvakeskus painotti aikaisessa vaiheessa myös hankintojen ja alihankintaketjun turvallisuuskulttuurin hallintaa ja luvanhaltijan vastuuta koko hankintaketjusta. Tähän ovat saattaneet vaikuttaa myös kokemukset tuolloin käynnissä olleista muista ydinlaitoshankkeista.

## Turvallisuuskulttuurin kehittämishjelma

Ensimmäinen turvallisuuskulttuurin kehittämishjelma FiR 1 -tutkimusreaktorille laadittiin vuonna 2016. Ohjelmassa taustoitettiin turvallisuuskulttuurin käsitettä ja sen relevanssia käytöstäpoistossa, kuvattiin VTT:n turvallisuuskulttuuria koskeva toimintapolitiikka ja määriteltiin turvallisuusasioita koskevia vastuita (vastuullinen johtaja, FiR 1 -johtoryhmä). Näiden yleisten tavoitteiden lisäksi ohjelmassa kuvattiin turvallisuuskulttuurin kehittämissuunnitelma seuraavalle vuodelle ja tuleville vuosille (esimerkiksi kolmivuotisjakso).

Kehittämissuunnitelman toimenpiteet koostuivat toistuvista toimenpiteistä ja turvallisuuskulttuuriarviointien perusteella laadituista toimenpiteistä. Esimerkkejä toistuvista toimenpiteistä olivat muun muassa turvallisuuden ja turvallisuuskulttuuriin liittyvien asioiden esillä pitäminen FiR 1 -käytöstäpoiston eri toiminnoissa, turvallisuuskulttuurikoulutuksen säännöllinen järjestäminen ja turvallisuuskulttuuriarvion säännöllinen toteutus.

Turvallisuuskulttuuriarvioita toteutettiin vuosina 2018, 2021, 2022 ja 2023. Arvioiden tavoitteina oli muodostaa tilannekuva tutkimusreaktorin turvallisuuskulttuurin tilasta ja laatia suosituksia sen parantamiseksi. Arvioita toteuttivat VTT:n turvallisuuskulttuuritutkijat, jotka eivät osallistuneet reaktorin ylläpitoon tai käytöstäpoistoon liittyviin tehtäviin ja joista osa toimi FiR 1 -johtoryhmän riippumattomina asiantuntijajäseninä.

Arvioiden viitekehystenä toimi VTT:llä kehitetty DISC-turvallisuuskulttuurimalli [5]. Ensimmäinen arvio perustui yksinomaan laadulliseen aineistoon, käyttäen menetelminä haastatteluja (VTT, STUK, TEM) ja dokumentoitua materiaalia [6]. Seuraavissa arvioissa käytettiin VTT:llä kehitettyä TUKU-turvallisuuskulttuurikyselyä [7], joka oli muokattu FiR 1 -käytöstäpoistoon sopivaksi. Viimeinen, vuoden 2023 arvio toteutettiin purkuvaiheen aikana, ja sen erityisteemana oli purkuvaiheeseen siirtyminen. Tätä varten käytöstäpoisto-organisaation turvallisuuskulttuuria koskeva kysely lähetettiin myös toimittajaorganisaatioille ja kyselyaineistoa täydennettiin haastattelulla ja dokumenttianalyyseilla.

Turvallisuuskulttuuriarvioista laadittiin raportit ja niiden tuloksia käsiteltiin FiR 1 -johtoryhmässä sekä muun henkilöstön kanssa. Arvion tulokset ja kehitystoimenpiteet vietiin turvallisuuskulttuurin kehittämishjelmaan ja -suunnitelmaan, joita päivitettiin arvioiden jälkeen vuosina 2018, 2022, 2023 ja 2024.

Turvallisuuskulttuuriarviot auttoivat FiR 1 -käytöstäpoiston johtoa tunnistamaan toimintatapoihin liittyviä haasteita ja reagoimaan niihin korjaavilla toimenpiteillä. Arvioiden säännöllinen toteutus mahdollisti myös tilanteen kehityksen ja toimenpiteiden vaikuttavuuden seuraamisen. Seuraavaksi kuvaamme kaksi esimerkkiä turvallisuuskulttuuriin ja johtamiseen liittyvistä haasteista, joita tunnistettiin ja seurattiin turvallisuuskulttuuriarvioissa.

### Tapausesimerkki 1: Organisatorinen siirtymä käytöstä käytöstäpoistoon

Ensimmäisessä turvallisuuskulttuuriarviossa tunnistettiin kehitystarpeena se, että käytöstäpoistoprojektia ja projektiorganisaatiota ei ollut kuvattu tutkimusreaktorin johtosäännössä ja että niiden suhde luvitettuun organisaatioon oli epäselvä [6]. Tästä esimerkkinä nostettiin käytöstäpoistopäällikön ja projektipäällikön suhde.

Käytöstäpoistoprojektin asemaa ei ollut määritelty dokumenteissa, vaan sen koettiin olevan dynaamisesti tilanteen mukaan kehittyvää työtä. Käytännössä tämä tarkoitti myös sitä, että käytöstäpoistoprojekti ei ollut kenenkään yksinomainen tehtävä. Vaikkakin projektin toimintatapoja pidettiin ketteränä ja johtamista ja ilmapiiriä positiivisena sekä työtä arvostettiin, turvallisuuskulttuuriarvion mukaan haasteeksi nousi resurssien ja aikataulun tiukkuus.

Turvallisuuskulttuuriarviossa todettiin, että projekti on tärkeä linkki käytöstäpoisto-organisaatioksi muuttumisessa ja suositeltiin, että projektiorganisaation tehtävien, vastuiden sekä roolien kuvaaminen ja linkittyminen olisi hyvä kuvata selkeästi, jotta mahdollisiin epäselvyyksiin ja resurssintarpeisiin olisi helpompi puuttua. Lisäksi ensimmäisessä turvallisuuskulttuuriarviossa korostettiin osaamisen hallintaa ja sitä, että reaktorin tuntevat henkilöt osallistuvat käytöstäpoistoon ja ovat motivoituneita. Näistä tarpeista oli johdettava perustellut, formaalit muutokset, jotka esitettiin STUKille hyväksyttäväksi osana päivitettyä reaktorin johtosääntöä.

Keskeisiä toimenpiteitä, joilla VTT toteutti organisatorisen siirtymän käytöstä käytöstäpoistoon, olivat organisaatiomuutos, uusitut työkäytännöt, tutkimusreaktorin ja pääurakoitsijan projektin johtamisjärjestelmien integrointi (katso seuraava tapausesimerkki) sekä tiedon ja osaamisen varmistaminen henkilöstöjärjestelyillä.

Käyttöorganisaatio vastasi reaktorin toiminnasta ja turvallisuudesta sen ollessa käytössä. Käyttöhistorian kaikissa vaiheissa FiR 1 -reaktorin organisaatio toimi pääl-

likkövaltaisen linjaorganisaation muodossa. Reaktorin pysyvään sammutustilaan siirtymisen jälkeen vuonna 2015 VTT:n organisaatio keskittyi reaktorin turvallisuudesta ylläpidosta huolehtimiseen ja purkamisen valmisteluun (Kuva 1a). Käyttöorganisaation toiminta jatkui, kunnes käytetty ydinpoltoaine oli poistettu laitokselta, minkä jälkeen voimaan astui käytöstäpoistoa varten muokattu organisaatio.

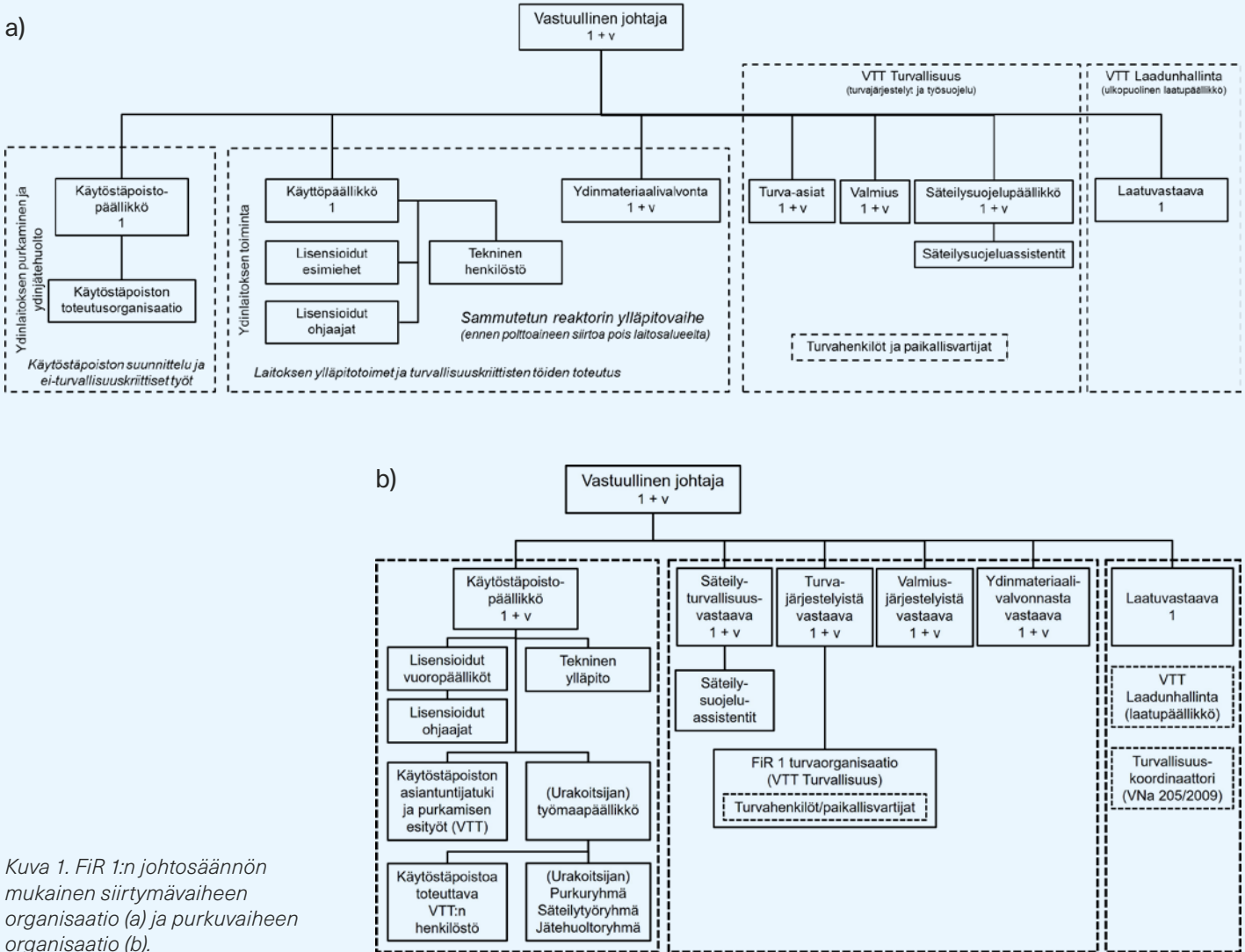
Käytöstäpoistovaiheessa erityisen olennaiseksi tunnistettiin työsuorituksen johtamisen ja turvallisuusvalvonnan erottamisen toisistaan, mikä huomioitiin korostamalla johtosäännössä erityisesti käytöstäpoistopäällikön ja päivystävän vuoropäällikön turvallisuusvastuita ja osoittamalla purkutyömaan työnjohdollinen vastuu urakoitsijan työmaapäällikölle. Purkuvaiheen organisaatiota esittää Kuva 1b.

Organisaation ohella uusittiin perusteellisesti turvallisuuskriittisten töiden työmääräinkäytäntö ja parannettiin tapoja laatia turvallisuuskriittisille töille toimivat työohjeet. Tarve näille jokapäiväiseen työhön vaikuttaville muutoksille nousi vahvasti esiin turvallisuuskulttuurin seuranta-arvioinnissa, joten se otettiin yhdeksi turvallisuuskulttuurin kehittämisen painopisteeksi.

Työn suorittajien osallistumista työohjeiden laadintaan parannettiin, ja samalla ohjeista alettiin tehdä vähemmän yksityiskohtaisia. Näin saatiin työn suoritukseen liittyvät olennaiset käytännön näkökulmat huomioituksi aikaisessa vaiheessa, vähennetyksi ohjeiden muutostarpeita työn suorituksen aikana ja sitoutetuksi tekijät tarkempan ohjeiden noudattamiseen. Tämän jälkeen turvallisuuskulttuuriarvion (kyselyn) ohjeisiin liittyvissä osioissa nähtiin merkittävä parannus, joten toimenpiteillä oli saavutettu haluttu vaikutus.

Tutkimusreaktorin purkuvaiheeseen siirryttäessä VTT päätti edelleen hyödyntää reaktorin käyttövaiheen henkilöstöä olennaisesti kokonaisuudessaan. Tämä päätös perustui siihen, että käyttövaiheen henkilöstö oli hyväksytty turvallisuustehtäviinsä, joita tarvitaan myös käytöstäpoistossa (esimerkiksi ydinmateriaalivalvonta, turva- ja valmiusjärjestelyt, säteilyturvallisuus) ja lisäksi heillä oli syvälinen laitostuntemus. Käyttövaiheen henkilöstö – erityisesti pitkän kokemuksen omaavat työntekijät – olikin tärkeä tietolähde käytöstäpoistoa suunniteltaessa, toteutettaessa ja ongelmatilanteita ratkottaessa.

Korkea osaamistaso tunnistettiin vahvuutena jo ensimmäisessä turvallisuuskulttuuriarviossa, mutta sen pysyvyyden varmistaminen nähtiin kehitystarpeena.



Kuva 1. FIR 1:n johtosäännön mukainen siirtymävaiheen organisaatio (a) ja purkuvaiheen organisaatio (b).

Seuraaviin turvallisuuskulttuurin kehittämissuunnitelmiin toimenpiteeksi sisällytettiin henkilöstösuunnitelman päivittäminen, huomioiden erityisesti osaamisen varmistaminen turvalliseen käytöstäpoistoon.

Tämä tapausesimerkki korostaa sitä, että käyttövaiheen organisaatiota ja keräntynyttä tietoa ei pidä päästää katoamaan, vaan niitä pitää pystyä siirtämään käytöstäpoistoon. Muun muassa tiedon ja osaamisen säilyttäminen ovat turvallisuuskulttuuriin heijastuvia teemoja, jotka nousivat tarpeellisella tavalla esiin jo turvallisuuskulttuurikyselyiden monivalinnoissa ja avoimissa vastauksissa, mutta erityisesti tulosten käsittelyyn ja tulkintaan varatuissa FIR 1:n johtoryhmän (turvallisuuslautakunnan) purkutilaisuuksissa. Ilman turvallisuuskulttuuriohjelmaa olisi ollut ilmeinen riski, että tämäntyyppisistä toiminnan taustalla ”huomaamattomasti” vaikuttavista asioista ei olisi aktiivisesti pidetty huolta.

Osaamisen säilyttämisen rinnalla myös uuden, käytöstäpoistossa tarvittavan osaamisen tuominen projektiryhmään ja osaamisen kehittäminen projektin aikana olivat projektin onnistumisen kannalta keskeisiä toimenpiteitä. Osaamistarpeiden painopisteen siirtyessä myös vastuuta siirrettiin enenevässä määrin käyttöorganisaatiolta projektille. Samalla työkäytäntöjä muutettiin projektilähtöisemmiksi vahva turvallisuuskäytäntö säilyttäen ja sitä edelleen kehittäen.

### Tapausesimerkki 2: Yhteistyö toimitusketjun kanssa

Käytöstäpoiston toimintoja ulkoistettiin toimitusverkostolle, sillä VTT:llä ei ollut tarvittavaa teollista kykyä suorittaa näitä tehtäviä itsenäisesti. Pääurakoitsijaksi valittiin Fortum Nuclear Services vuonna 2020 (muualla tässä tekstissä vain ”Fortum”). Tämä tarkoitti sitä, että VTT:n rooli muuttui reaktorin yksin hallinnoivasta toimijasta

muiden osapuolten valvojaksi. Tämä edellytti myös erilaisten toimintakulttuurien ja toimintatapojen integrointia.

Toimitusketjun hallinnan kehitystarpeita tunnistettiin jo ensimmäisessä turvallisuuskulttuuriarviossa. Huomattiin, että luvitulla organisaatiolla ei ollut aiempaa laajaa kokemusta toimitusketjun hallinnasta ja että siihen liittyvää osaamista täytyy kehittää. Alihankintaa koskevia toimenpiteitä nostettiin seuraavaan turvallisuuskulttuurin kehittämissuunnitelmaan. Käytännössä esimerkiksi kilpailutuksissa toimittajien vähimmäisvaatimuksiin lisättiin turvallisuuskulttuuriin liittyviä näkökohtia ja alihankkijoiden tulokoulutuksissa painotettiin turvallisuuskulttuurin merkitystä paitsi ydin- ja säteilyturvallisuudelle myös työturvallisuudelle.

Käytöstäpoiston vahva projektorientaatio edellyttää ydinlaitoksen turvallisuusjohtamisen alaisuuteen kehitettyjä käytäntöjä, jotka tukevat projektin tehokasta edistämistä laitoksen toimintajärjestel-



*Kuva 2. Reaktorista puretun grafiitin pakkaaminen oli esimerkki työvaiheista, joissa kontaminaation hallinnan merkitys korostui. Yhteisellä työpaikalla Fortum huolehti operatiivisesta säteilysuojelusta, ja VTT:llä luvanhaltijana oli perimmäinen turvallisuusvastuu.*

män puitteissa. FiR 1:n käytöstäpoistossa hyödynnettiin VTT:n ja Fortumin projektien johtamisjärjestelmiä, ja keskeisten toimintajärjestelmien vaatimukset määriteltiin selkeästi. Tällä varmistettiin, että projektitoiminta noudattaa turvallisuuskäytäntöjä ja toimintajärjestelmien vaatimuksia johdonmukaisesti.

Ensimmäisinä vuosina toimitusketjun kanssa toimiminen oli tiivistä ja yhteistyö sujui hyvin. Tämä näkyi myös turvallisuuskulttuuriarvioiden positiivisissa alihankintaa koskevissa tuloksissa. Toiminta keskittyi käytöstäpoiston suunnitteluun, jota tehdessään suomalaiset ja ulkomaalaiset suunnittelijat viettivät paljon aikaa VTT:llä keräämässä yksityiskohtaista tietoa reaktorista ja järjestelmistä. Tällainen työskentely osoittautui motivoivaksi hyvän laitostuntemuksen omaavalle henkilöstölle – pitkän ajan kuluessa kertyneelle osaamiselle nähtiin mielekäästä käyttöä.

Kun siirryttiin purkuvaiheeseen, toimijoiden väliset toimintakulttuurien erot nousivat esille, kun fyysistä ja turvallisuuskriittistä työtä tehtiin yhteisellä työpaikalla – purkutyömaalla. Kuvassa 2 on esimerkki työympäristöstä. VTT:n toimintakulttuuri oli muodostunut tutkimusreaktorin pitkän käyttövaiheen aikana ja heijasti sitä kontekstia, kun taas toimittajien organisaatiokulttuurit heijastivat heidän teollista kokemustaan jätehuollossa ja ydinvoimaloiden vuosihuollossa. VTT:n henkilöstö esimer-

kiksi tunsu reaktorin pitkän kokemuksensa ansiosta ja työskenteli sujuvasti työmaalla, mutta VTT:n käytännöt eivät kuitenkaan aina vastanneet toimittajien kanssa sovittuja toimintatapoja tai käytöstäpoiston toimintatavat erosivat käyttövaiheen käytännöistä. Tämä loi osapuolten välille jännitteitä purkutyömaalla.

Potentiaalia tällaiselle toimintakulttuurien erolle ei tunnistettu etukäteen turvallisuuskulttuuriarvioissa, koska alihankintaa koskeva osuus keskittyi tarkastelemaan VTT:n omia kyvykkyksiä hallita toimitusketjua ja VTT:n käsityksiä alihankkijoiden kyvykkyyksistä. Viimeisessä, purkuvaiheen aikana toteutetussa turvallisuuskulttuuriarviossa hyödynnettiin myös toimitusketjun henkilöstöä tiedonlähteenä, mikä auttoi selittämään haasteiden taustalla olleita kulttuurillisia syitä.

Toimintakulttuurien erojen tunnistaminen ja niistä keskustelu auttoikin niiden huomioon ottamista purkuvaiheen loppupuolella. Lisäksi tuloksia pohdittiin sekä FiR 1 -johtoryhmässä että alihankkijoiden johdon edustajien kanssa ja tunnistettiin oppeja tulevia projekteja varten.

Tapausesimerkki korostaa sitä, että purkutyömaan yhteistä turvallisuuskulttuuria ei voi rakentaa suunnittelupöydällä vaan se edellyttää kaikkien osapuolten osallistamista kaikissa käytöstäpoiston vaiheissa. Yhteisen ymmärryksen luominen projektista, sen tavoitteista ja työkäytän-

noista on olennaista myös pienemmissä projekteissa. Turvallisuuskulttuurin tarkastelun ulottaminen koko toimitusketjuun jo projektin alussa on tärkeää potentiaalisten haasteiden varhaista tunnistamista ja ratkaisemista varten.

## Lopuksi

Turvallisuuskulttuurin jatkuva parantaminen vaatii sitoutumista ja sen muutos tapahtuu hitaasti. FiR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoiston aikana toteutettiin säännöllisesti turvallisuuskulttuuriarvioita ja päivitettiin niiden tulosten pohjalta ylläpidettyä turvallisuuskulttuurin kehittämissuunnitelmaa. Tämä oli osa systemaattista ja resursoitua prosessia. Turvallisuuskulttuuriarvioilla tuotettiin riippumaton, tietopohjainen näkökulma turvallisuuskulttuurista, mikä tuki turvallisuusjohtajuutta FiR 1 -käytöstäpoistossa.

FiR 1 -käytöstäpoistohankkeessa organisatorinen siirtyminen käytöstä käytöstäpoistoon ja eri toimintakulttuurien integraatio saatiin lopulta onnistumaan hyvin. Valituilla kehittämistoimenpiteillä oli selvää vaikuttavuutta, mikä on hyvin myönteinen viesti kaikille turvallisuuskriittisten tehtävien kanssa toimiville: turvallisuuskulttuuriin on mahdollista proaktiivisesti vaikuttaa.

## VIITTEET

- [1] IAEA, 'INSAG-4. Safety Culture', International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 75-INSAG-4, 1991.
- [2] IAEA, 'A Harmonized Safety Culture Model', IAEA Working Document, 2020. Accessed: Nov. 11, 2020. [Online]. Available: [https://www.iaea.org/sites/default/files/20/05/harmonization\\_05\\_05\\_2020-final\\_002.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/20/05/harmonization_05_05_2020-final_002.pdf)
- [3] STUK, Säteilyturvakeskuksen määräys ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta, Määräys STUK Y/1/2018. 2018.
- [4] M. Airila et al., 'Case Study on Decommissioning of the FiR1 TRIGA reactor', VTT Technical Research Centre of Finland, VTT Research Report VTT-R-00090-22, 2022.
- [5] T. Reiman, E. Pietikäinen, P. Oedewald, and N. Gotcheva, 'System modeling with the DISC framework: evidence from safety-critical domains', *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, vol. 41, pp. 3018–3025, Jan. 2012, doi: 10.3233/WOR-2012-0558-3018.
- [6] M. Ylönen and M. Airola, 'FiR1 -Tutkimusreaktorin käytöstäpoiston turvallisuuskulttuuriarviointi', VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland, VTT-R-0216-18, 2018.
- [7] T. Reiman, I. Silla & E. Pietikäinen, 'The validity of the Nordic patient safety culture questionnaire (TUKU)'. *International Journal of Risk & Safety in Medicine*, 25(3), 169–184, 2013.

## KIRJOITTAJAT



**PsM Kaupo Viitanen**  
Erikoistutkija  
Teknologian tutkimuskeskus  
VTT Oy  
[kaupo.viitanen@vtt.fi](mailto:kaupo.viitanen@vtt.fi)



**KM Merja Airola**  
Erikoistutkija  
Teknologian tutkimuskeskus  
VTT Oy  
[merja.airola@vtt.fi](mailto:merja.airola@vtt.fi)



**FT Petri Kotiluoto**  
Tiimipäällikkö  
Teknologian tutkimuskeskus  
VTT Oy  
[petri.kotiluoto@vtt.fi](mailto:petri.kotiluoto@vtt.fi)



**TkT Markus Airila**  
Tiimipäällikkö  
Teknologian tutkimuskeskus  
VTT Oy  
[markus.airila@vtt.fi](mailto:markus.airila@vtt.fi)

# JULES HOROWITZ MATERIAALIEN TUTKIMUSREAKTORI (JHR) – YHÄ RAKENTEILLA

Petri Kinnunen  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Jules Horowitz materiaalien tutkimusreaktoria alettiin rakentamaan Cadaracheen Ranskaan vuonna 2008 ja sitä tullaan rakentamaan aivan seuraavan vuosikymmenen alkuun asti. JHR:n keskeisenä tavoitteena on korvata vanhentuvaa eurooppalaista tutkimusinfrastruktuuria materiaali- ja polttoainetutkimuksen saralla. Lisäksi JHR tulee olemaan erittäin merkittävässä roolissa lääketieteen tarvitsemien isotooppien tuotannossa Euroopassa.

Construction of the Jules Horowitz materials testing reactor was started in Cadarache, France in 2008. The construction will be continued to the beginning of 2030's. The main goal for the JHR is to replace the ageing materials testing infrastructure in Europe. In addition, another key focus will be the production of radioisotopes for medical purposes for the whole Europe.

JHR:stä kirjoitettiin ATS Ydintekniikka -lehteen edellisen kerran vuonna 2012 [1]. Tuolloin työ oli vielä varsin alkuvaiheessa. Tässä artikkelissa kerrotaan sekä itse reaktorityömaan tilanteesta että suomalaisen in kind -toimituksen toteutuksesta.

Tutkimusreaktorin rakennuttaa ranskalainen tutkimusorganisaatio CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) ja sen rakentaa Techniatom yhteistyössä Framatomen ja Arevan kanssa. Reaktorin teho on 100 MW. VTT on osana kansainvälistä konsortiota tuottamassa tutkimuslaitteita reak-

toriin niin sanotussa in kind -hankkeessa. Konsortion osapuolet ja heidän osuutensa reaktorista on esitetty taulukossa 1.

JHR rakennetaan paitsi korvaamaan elinikänsä päättää lähestyviä muita eurooppalaisia tutkimusreaktoreita myös tuottamaan tietoa kokonaan uudentyyppisillä valmiuksilla. JHR:ssä on tavoitteena tutkia muun muassa:

- uusien materiaalien ja polttoaineiden reaktorikäyttäytymistä ja kvalifiointia sekä turvallisuuden kannalta keskeisiä ominaisuuksia,
- materiaalikäyttäytymistä erilaisissa ympäristöissä (kevytvesireaktori-, kaasutai sulametalliympäristö),
- erilaisia transientteja turvallisuusanalyysijä varten ja
- suuren neutronivuon vaikutuksia.

Reaktorissa on suunniteltu tutkittavan niin nykyisen käytössä olevan toisen sukupolven, rakenteilla olevan kolmannen sukupolven kuin suunnitteilla olevan neljännenkin sukupolven reaktorimateriaaleja ja ympäristöjä. Lisäksi JHR:ää tullaan käyttämään merkittävässä määrin lääketieteen isotooppien tuotannossa. JHR-hankkeesta löytyy runsaasti lisätietoa nettisivuilta [2].

## Kansainvälisen rakennushankkeen tilanne

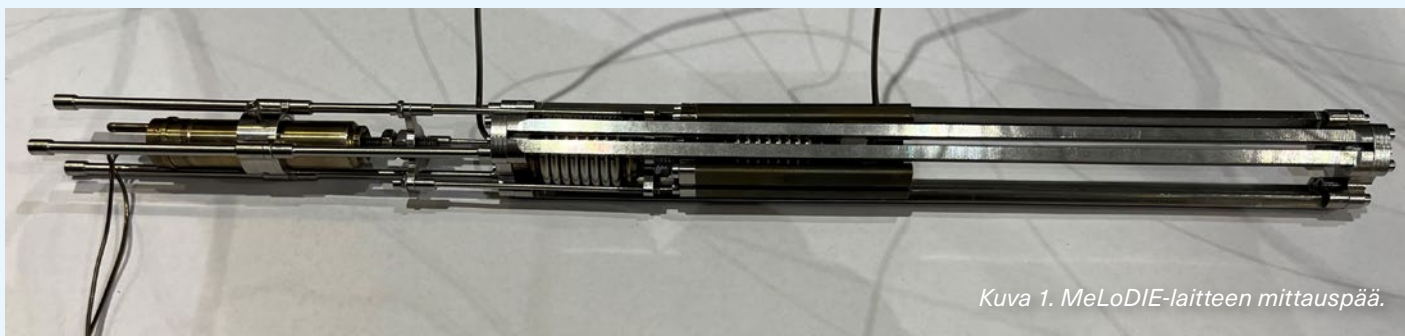
Vuonna 2025 JHR:ää on rakennettu jo 17 vuotta. Matkan varrelle on sattunut niin Fukushima onnettomuus kuin koronavuodetkin, rakentamisesta alun perin vastanneen Arevan ja reaktorin rakennusprojektin uudelleenorganisointi sekä haastavat neuvottelut Ranskan valtion kanssa hankkeen loppuunsaattamisesta.

Fukushiman onnettomuus vuonna 2011 pysäytti reaktorin toteutuksen ensimmäisen kerran. Tällöin reaktorille tehtiin uusiksi turvallisuustarkastelut maan-

Taulukko 1. JHR-konsortion osallistajat.

Member	Country	Contribution	Member	Country	Contribution
Studsvik	Sweden	2%	FRAMATOME	France	5%
CIEMAT	Spain	2%	TECHNICATOME	France	3,5%
VTT	Finland	2%	AREVA-SA	France	1,5%
SCK.CEN	Belgium	2%	CEA	France	45%
UJV-CVR	Czech Republic	2%	CGN	China	2%
NNL	United Kingdom	2%			
DAE	India	3%	<b>Observer :</b>		
IAEC	Israel	2%	<u>European Commission (EC)</u>	European Union	5%
EDF	France	20%	<u>Joint Research Center (JRC)</u>	European Union	1%





Kuva 1. MeLoDIE-laitteen mittauspää.

järitysten varalta. Lopulta varsinaiset muutostyöt pysyivät varsin maltillisina; reaktorin tukirakenteita ja sähkönsyötön ynnä muiden prosessien varmistuksia lisättiin.

Isompi pysäytys oli vasta tulossa. Alun perin yhtä matkaa tehdyt reaktorirakennuksen rakentaminen ja ydintekninen suunnittelu erkautuivat omiksi poluikseen viime vuosikymmenen puolivälissä, ja tästä seurasi merkittäviä ongelmia projektin johtamiseen. Lopulta oltiin tilanteessa, että reaktorirakennus tehtiin "valmiiksi" ilman täydellistä tietoa siitä, mitä kaikkia toimintoja sinne pitää sisällyttää.

Tämä taas johti siihen, että kaikkea ydintekniikkaa ei voitu toteuttaa alkupe- räisten suunnitelmien mukaisesti vaan suunnitelmia päivitettiin. Samaan aikaan kustannukset juoksivat, mutta rakentaminen ei edennyt. Lopulta CEA otti hankkeen johdon omiin käsiinsä, uudelleenorganisoiti työmaan ja neuvotteli Ranskan valtion ja kansainvälisten partnereiden kanssa uuden aikataulun ja budjetin hankkeen toteutukselle.

Vuonna 2025 työt etenevät taas vauhdilla ja tämänhetkisen "virallisen" arvion mukaan reaktori otetaan käyttöön vuonna 2032 ja ensimmäiset tutkimusohjelmat alkavat vuonna 2034.

## Suomen in kind -kontribuutio

Suomen in kind -projekti toteutettiin Business Finland -projektina, jossa rahoittajina toimivat BF:n ja VTT:n lisäksi Teollisuuden Voima, Fortum, Fennovoima ja Posiva. Lisäksi projektiin osallistuivat Säteilyturvakeskus ja Työ- ja elinkeinoministeriö asiantuntijaorganisaatioina. VTT toimii Suomen edustajana JHR:ään päin ja VTT myös vastasi Suomen in kind -toimituksen sisällöstä.

VTT:n ja CEA:n kesken sovittiin, että VTT toimittaa mittalaitteita reaktoriin 10 M€:n arvosta vuoden 2005 valuutassa. Hanke toteutettiin vuosina 2008-2023.

Toimituksen lopulliseksi arvoksi tuli noin 17 M€, joka vastaa vuoden 2005 valuuta-arvona noin 13 M€.

VTT:n ja CEA:n yhteistyönä sovittiin suunniteltavaksi ja toimitettavaksi kolme mittalaittekokonaisuutta:

1. Vedenalaiset gammaspektrometria- ja röntgentomografiamittauslaitteet sekä reaktorialtaaseen että käytettyjen laitteistojen varastoaltaalle (UGXR, Underwater Gamma scanning and X-Ray tomography). Nämä mittaukset ovat JHR:n keskeisimpiä mittauksia, joilla hankitaan tietoa erilaisten polttoaineiden palamista ja isotooppi-koostumuksista ja rakennemuutoksista. Mittausten avulla selvitetään, miten polttoaine käyttäytyy tietynlaisessa konstruktiossa, joka voi olla esimerkiksi tulevaisuuden reaktoreihin ajateltu, tai millaisia radioaktiivisia hajoamistuotteita polttoaineessa syntyy.
2. Gammaspektrometria- ja röntgentomografiamittauslaitteet kuumakammioihin (HGXR, Hot cell Gamma scanning and X-Ray tomography). Kuumakammioissa tehdään vastaavia mittauksia kuin reaktorialtaassakin, mutta kuumakammiossa voidaan tutkia yksittäisiä polttoainesauvoja polttoainenipun sijasta.
3. Mekaaninen aineenkoestuslaitteisto materiaalien ominaisuuksien tutkimiseksi reaktorin sydämessä (MeLoDIE, Mechanical Loading Device for Irradiation Experiments). Servopneumaattisesti ohjatulla aineenkoestuslaitteistolla voidaan tutkia materiaalien mekaanisia ominaisuuksia reaktorin sydämessä säteilyn alaisissa olosuhteissa. Näin saadaan selville, miten säteily vaikuttaa materiaalin kestävytyteen, mikä taas on keskeinen tieto reaktoreita tai niiden komponentteja suunniteltaessa ja ikääntymistä arvioitaessa. Utta toimitettavassa

teknologiassa on se, että laitteistolla on mahdollista saada mittausdataa moniaksaalisessa kuormitustilanteessa eikä ainoastaan koekappaleen pituussuuntaisesti kuten perinteisessä materiaalien mekaanisen kestävyuden koestuksessa. Suomalainen toimitus piti sisällään mittauspään, johon tutkittava näyte kiinnitetään, ja siihen liittyvän ohjausautomaatiikan. Mittauspään liitettävä tukirakenne ja suojaputki tulee aina reaktoriopeeraattorilta kuhunkin reaktoriin räätä- löitynä.

Toimitetuista kokonaisuuksista MeLoDIE-laitteisto valmistui jo vuonna 2015, kun se testattiin onnistuneesti CEA:n OSIRIS-reaktorissa. Laitteen jatkokehitys eriytettiin tämän jälkeen JHR-hankkeesta ja MeLoDIE:sta tehdään parhaillaan seuraavan sukupolven versiota OECD:n FIDES II -ohjelman INCA-projektin sekä SAFER2028-ohjelman puitteissa. Tämä laitteisto testataan vuosina 2026-2027 tsekien LVR-15 -tutkimusreaktorissa ja siirretään aikanaan sitten JHR:ään.

Kuvassa 1 on esitetty kuva VTT:n toimittamasta mittauspäästä. Näytteenä on Zircalloy-4-seoksesta valmistettu polttoaineen suojakuoriputki, joka paineistetaan sisäisesti ja jonka 2-aksaalista virumista säteilyn alaisena mitataan.

Gamma- ja röntgentomografialaitteistot (UGXR ja HGXR) suunniteltiin VTT:n, CEA:n ja molempien organisaatioiden valitsemien alihankkijoiden yhteistyönä. Pääalihankkijana projektissa oli espanjalainen Idom. Vuosina 2008-2011 toteutettiin in kind -projektin ensimmäinen niin sanottu feasibility-vaihe, jossa in kind -toimituksen tarkempi tekninen sisältö sovittiin ja tehtiin esisuunnittelu sekä laadittiin laitespesifikaatiot VTT:n ja CEA:n toimesta.

Idom valikoitui VTT:n alihankkijaksi kansainvälisten kilpailutusten kautta 2014-2016 molempiin GXR-järjestelmiin. Työn toteu-



Kuva 2. HGXR-laitteisto. Mittapenkki, johon yksittäinen polttoainesauva kiinnitetään, on vasemmalla. Oikealla on gamma- ja röntgenmittauksiin käytettävä kollimaattorijärjestelmä. Takana näkyvät laitteiston ohjaukseen tarvittavat elektroniikkapaarit.



Kuva 3. UGXR-laitteisto. Vasemmalla vedenalainen mittapenkki asennettuna testustorniin. Oikealla gamma- ja röntgenmittauksissa tarvittava kollimaattorijärjestelmä, joka asennetaan reaktorialtaan seinässä olevaan läpiviintiin.

tuksessa oli ensin muutaman vuoden loppusuunnittelu, jonka jälkeen Idom omien alihankkijoidensa kanssa alkoi rakentaa laitteistoja. VTT vastasi projektin hallinnasta ja Idomin sekä sen alihankkijoiden valvonnasta. CEA:n roolina oli seurata ja ohjata laitteistojen teknistä suorituskykyä sekä niiden integroitavuutta JHR:ään.

Kuumakammioihin tarkoitettu HGXR-laitteisto valmistui vuonna 2021 (kuva 2). Laitteisto koostuu kuumakammion sisällä liikuteltavasta mittapenkistä, johon voidaan tuoda tutkittavaksi yksittäinen polttoainesauva, sekä kollimaattorijärjestelmästä, jolla rajataan säteilevästä näytteestä haluttu gammakeila tai jolla kohdistetaan röntgensäde tutkittavaan näytteeseen.

Vastaavasti myös vedenalaiseen mittauksiin suunniteltu UGXR-laitteisto koostuu mittapenkistä ja kollimaattoreista (kuva 3). Erona HGXR:ään on lähinnä koko: kun HGXR-laitteistot mahtuvat yhteen kuumakammioon, on vedenalainen UGXR-penkki kooltaan noin 5 metriä korkea ja painaa tuhansia kiloja.

Tutkittavana kohtiona ei ole yksittäinen polttoainesauva vaan säteilytyslaitte, joka voi sisältää useita polttoainesauvoja erilaisissa geometrioissa. VTT toimitti näitä

laitteistoja kaksi kappaletta: reaktorialtaalle sekä käytettyjen säteilytyslaitteiden varastoaltaalle. Nämä laitteistot valmistuivat lopullisesti vuonna 2023.

### Tutkimusohjelmasuunnittelu JHR:ssä

JHR:n tutkimuskapasiteetti tullaan ottamaan käyttöön kahdessa eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa käyttöön tulevat eniten tarvittavat koelaitteistot, joita myöhemmin täydennetään lukuisilla muilla laitteistoilla. Ensimmäisen vaiheen laitteistot on esitetty kuvassa 4.

ADELINELAITTEISTO on tarkoitettu simuloimaan transientitilanteita, joissa polttoaineen suojakuoren vikaantuminen on riskinä. MADISON-laitteisto puolestaan on tarkoitettu laitosten normaalien operointitilanteiden simulointiin. OCCITANElla voidaan säteilyttää paineastiateräksiä ja MICA-tyypin laitteet on tarkoitettu pienempien materiaalinäytteiden säteilytykseen reaktorin sydämessä.

Suomi saa tämän osallistumisen kautta 2 % käyttöoikeuden reaktorin tutkimuskapasiteettiin ja pääsyn konsortion tutkimusohjelmiin. Osallistuminen tällaiseen

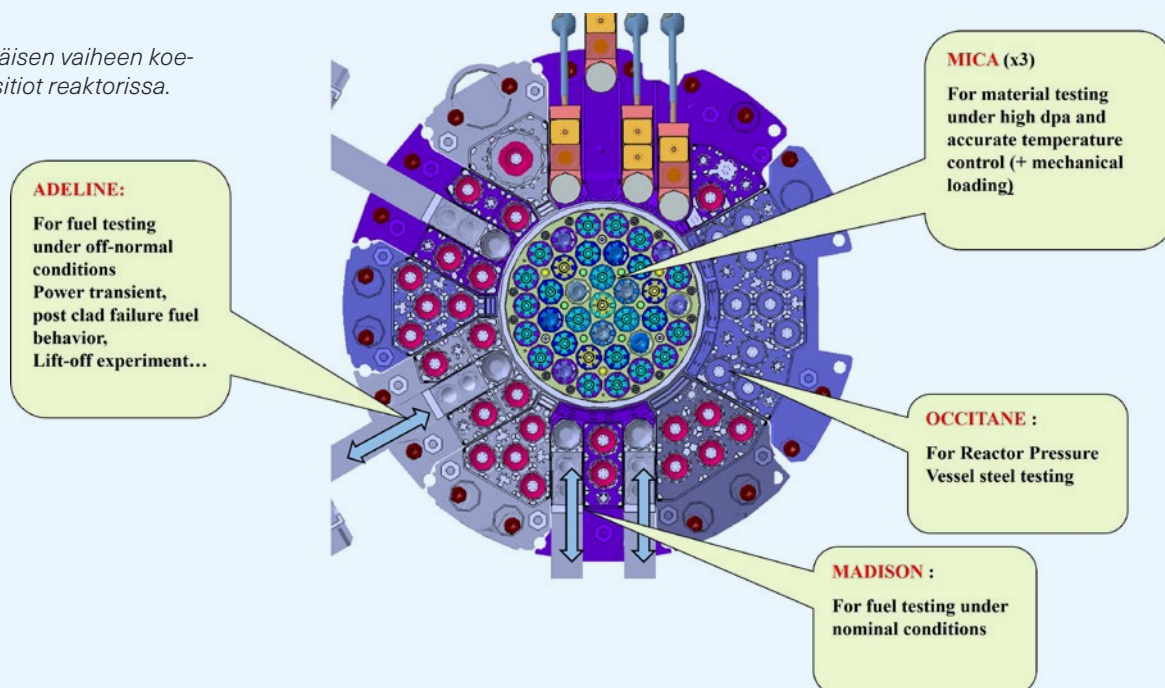
hankkeeseen parantaa suomalaisen ydinvoimateknologian kilpailukykyä ja antaa suomalaisille toimijoille tietoa, jota muuten ei olisi saatavissa.

Käyttöoikeutta voidaan halutessa vuokrata muille tahoille tai sitä voi jättää reserviin: jos suomalaiset toimijat eivät yhtenä vuonna halua kokeita laitoksessa teettää, voi toisena vuonna tehdä sitten pidemmän jakson kokeita. Kuitenkin todennäköisin hyödyntämistapa tuolle osuudelle on käyttää sitä "pääsymaksuna" kansainvälisiin yhteishankkeisiin. Kustannuksina kukin käyttäjä maksaa niistä kokeista, joita haluaa käyttää.

Laitoksen operointiin on tehty jo suunnittelua melkoisesti. Keskeisessä roolissa oli Euratomin puitteissa tehty Jules Horowitz Operation Plan 2040 (JHOP2040 [3]) hanke. Tässä projektissa laadittiin koehjelmarunko ensimmäiselle 15 vuoden jaksolle. Projektin suunnittelusta löytyy lisätietoa viitteestä [3].

Yhteisohjelmien lisäksi on mahdollista myös tehdä niin sanottuja yksinoikeuskokeita, joissa joku konsortion jäsen teettää kokeita vain itselleen. Näiden koetarpeiden suunnittelu tehdään rinnakkain yhteisohjelmien ja isotooppiutuotannon kanssa.

Kuva 4. JHR:n ensimmäisen vaiheen koe-laitteistot ja niiden positiot reaktorissa.



## Yhteenveto

JHR:n rakentaminen on kestänyt kauan eikä ole välttynyt merkittävilä haasteilä. Kuitenkin työ on ollut määrätietoista, ja vuonna 2025 reaktorin rakentamisen lop-

puunsaattamiseen on selkeä suunnitelma ja aikataulu ja kansainvälinen konsortio on sitoutunut saamaan työn päätökseen. JHR tulee näkymään tulevaisuudessa yhä enemmän eurooppalaisessa ydintutkimussuunnitelussa jo hyvissä ajoin ennen operointiaan.

Suomi on oman osansa rakentamisesta tehnyt ja oli ensimmäinen in kind -toimittaja, joka sai osuutensa valmiiksi 2023. Suomalainen ydinvoimayhteisö voi nyt keskittyä operoinnin suunnitteluun sekä kartoittamaan tulevia koetarpeita.

## VIITTEET

- [1] P. Kinnunen, Jules Horowitz materiaalien tutkimusreaktori (JHR), ATS Ydintekniikka (2) 2012, ss. 19-20.  
 [2] <https://jhrreactor.com> (viitattu 21.1.2025).  
 [3] <https://www.jhop2040-h2020.eu> (viitattu 21.1.2025).

## KIRJOITTAJA



**TkT Petri Kinnunen**  
Ydinenergian tutkimus- ja  
laatupäällikkö  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
[petri.kinnunen@vtt.fi](mailto:petri.kinnunen@vtt.fi)

Doctoral dissertation

# PHOTOGRAMMETRY FOR CHARACTERIZING ROCK FRACTURE ROUGHNESS, PHYSICAL APERTURE, AND HYDROMECHANICAL PROPERTIES

Masoud Torkan  
Fractuscan Oy and Aalto University

Rock mass acts as a barrier to keep nuclear waste repositories safe. A rock mass consists of intact rock and discontinuities. Discontinuities, such as fractures, mostly govern the hydraulic and mechanical behaviors of a rock mass. This dissertation used photogrammetry, experiments, and numerical modeling to study fracture properties. Results showed that photogrammetry is reliable for fracture characterization, shear behavior showed a negative scale effect, and no scale effect occurred after 30 cm for hydraulic behavior.

Kalliomassa toimii leviämissesteenä ydinjätteiden loppusijoituksessa. Kalliomassa koostuu ehjästä kalliosta ja epäjatkuvuuskohdista. Kalliomassan hydraulinen ja mekaaninen käyttäytyminen määräytyy pääasiassa epäjatkuvuuskohtien, kuten murtumien, perusteella. Tässä väitöskirjatyössä käytettiin fotogrammetriaa, kokeita ja numeerista mallintamista murtumien ominaisuuksien tutkimiseen. Tulokset osoittivat, että fotogrammetria on luotettava työkalu murtumien karakterisoinnissa, leikkauskäyttäytymisessä näkyi negatiivinen mittakaavailmiö ja että mittakaavailmiötä ei esiintynyt hydraulisessa käyttäytymisessä 30 cm:n jälkeen.

**M**any infrastructures, such as dams, tunnels, and nuclear waste repositories, are built in or upon rock masses. A rock mass includes intact rock and discontinuities. In most cases, discontinuities, such as fractures, play a vital role in mechanical and hydraulic behaviors. Excavation of these spaces in rock masses changes the stress distribution, which can lead to the opening, closing, and propagation of fractures.

Therefore, rock mass characterization, especially of discontinuities, is important for nuclear waste disposal.

Radionuclides can escape through fluid flow in fracture networks, or shearing can damage the disposals (Figure 1). This is why characterizing hydraulic and mechanical properties of a single fracture is vital to better understanding its role in a fracture network.

A single fracture often includes two rough surfaces and is governed by its geometrical properties, such as roughness, physical aperture, contact areas, and matedness. Roughness signifies the variation of the fracture surface; physical aperture represents the volume between two rough

surfaces; contact areas represent the possible contact points between the surfaces; and matedness is the matching degree between the two surfaces [1].

The hydraulic and mechanical properties of a fracture can also affect its geometrical properties. For example, increasing water pressure can open the fracture aperture, increasing normal stress results in a decreased physical aperture and increased contact areas, and shear stress can change the physical aperture, roughness, and matedness.

There are different methods to measure the geometrical properties of a fracture, which can be classified into two groups: contact and non-contact methods [2]. Contact methods, such as profilometry to measure roughness and injection or casting to estimate physical aperture, are usually time-consuming, subjective, and sometimes destructive. Non-contact methods, such as laser scanning and photogrammetry [3], can provide highly precise and detailed 3D models that can also be used for numerical modeling.

Several studies have measured roughness and physical aperture using laser scanning, while photogrammetry has mostly been used for estimating roughness. Laser scanning is costly, whereas photogrammetry can be done with smartphones and high-quality cameras. The accuracy of laser scanning is usually reported as provided by the manufacturer, while for photogrammetry, it is often compared with laser scanning or a ground truth. Ideally, both methods should be evaluated with reliable benchmarks.

This research is motivated by the lack of knowledge regarding the accuracy assessment of photogrammetry for measuring roughness and physical aperture and using photogrammetric 3D models to predict shear behavior and simulate fluid flow through fractures at different scales.

## Sample preparation

Different sample sizes of Finnish Kuru grey granite were selected for various tests: 25 cm × 50 cm and 100 cm × 200 cm for shear tests, a 50 cm × 50 cm sample for evaluating roughness and physical aperture using smartphones and inexpensive cameras, and three 25 cm × 25 cm samples for fluid flow tests. These samples were split using the plug-and-feather method, inducing tensile fractures through the blocks, and then cut to the desired dimensions. Additionally, three 100 cm × 100 cm subsamples were extracted from the photogrammetric 3D model

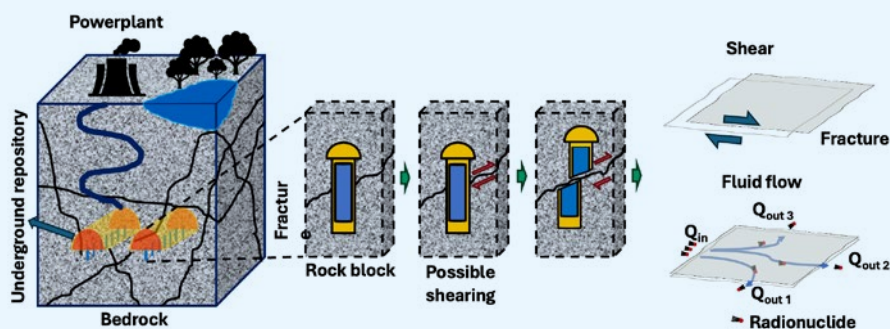


Figure 1. A possible incident in the worst-case scenario for a nuclear disposal repository: shearing fractures damaging the disposal, leading to radionuclide release, or radionuclide escape through fractures via fluid flow.

of the bottom half of the 100 cm × 200 cm sample for numerical modeling of fluid flow to study the scale effect.

## Photogrammetry

Photogrammetry is a method for reconstructing 3D models from 2D images by identifying and aligning matching points in overlapping photos of an object. Using the SfM-MVS algorithm, sparse point clouds are first created to determine camera positions, and dense 3D point clouds are subsequently generated.

To measure roughness and physical aperture, known patterns such as labyrinth-like mazes and coded markers with detectable patterns were used to conduct photogrammetry. These coded markers help scale and orient the photogrammetric 3D model because the initial models are not scaled or oriented. Figure 2 illustrates the principle of photogrammetry (Figures 2a and 2b) and different known patterns for different sample sizes (Figures 2c and 2d).

A labyrinth pattern was used to scale 3D models and measure roughness, but

it was not suitable for measuring physical aperture. While this method showed good results for roughness, validated using direct shear tests and profilometry, coded markers were used for measuring both roughness and physical aperture. Distances between markers served as scale bars and for accuracy assessment.

Attaching a few markers to a 50 cm × 50 cm sample and measuring the distances between them with a caliper with a resolution of 100 μm was not satisfactory for scaling a photogrammetric 3D model. Therefore, many markers with predefined distances were developed in this study. In this method, markers with predefined distances (1-micron accuracy) were printed and attached to the samples. Increasing the number of markers with predefined distances significantly improved accuracy. The results were comparable to linear variable displacement transducers (LVDTs), with differences of 1 to 8 microns when measuring changes in physical aperture under different normal stresses.

To check the capability of smartphones and inexpensive cameras, the

50 cm × 50 cm sample was scanned using a DSLR camera, Xiaomi, iPhone 12 Pro Max, Raspberry Pi, and GoPro. The results showed that caution should be taken with inexpensive cameras with high distortion, such as the Raspberry Pi and GoPro.

## Experimental and numerical modeling

Figure 3a shows Sample 3, one of the three 25 cm × 25 cm samples. Roughness for all samples was estimated in different directions (X and Y) using photogrammetric 3D models (Figure 3b). Then, the physical aperture of the samples was evaluated by photogrammetry under different normal stresses (0, 0.1, 0.3, and 0.5 MPa).

Fluid flow tests were conducted under varying normal stresses and water pressure (5 kPa to 50 kPa in 5 kPa intervals) in both X and Y directions. The nonlinearity of the relationship between flow rate at the outlet of the fractures for different pressure gradients was analyzed using the Forchheimer equation. By fitting this equation, hydraulic aperture, and the non-Darcy coefficient were calculated.

The hydraulic apertures were determined for both X and Y directions. If one direction was rougher than the other, it led to a smaller hydraulic aperture. For example, Figure 3b shows the anisotropy of roughness, where Sample 2 is rougher in direction Y, and Figure 3d illustrates that the hydraulic aperture is smaller in direction Y for this sample. This highlights the anisotropy of the surfaces in different directions and its effect on fluid flow behavior.

Photogrammetric 3D models were also used to simulate fluid flow through fractures in COMSOL (Figure 3e). The validation diagram shows experimental and numerical results under varying normal stresses, with a pressure gradient of 40

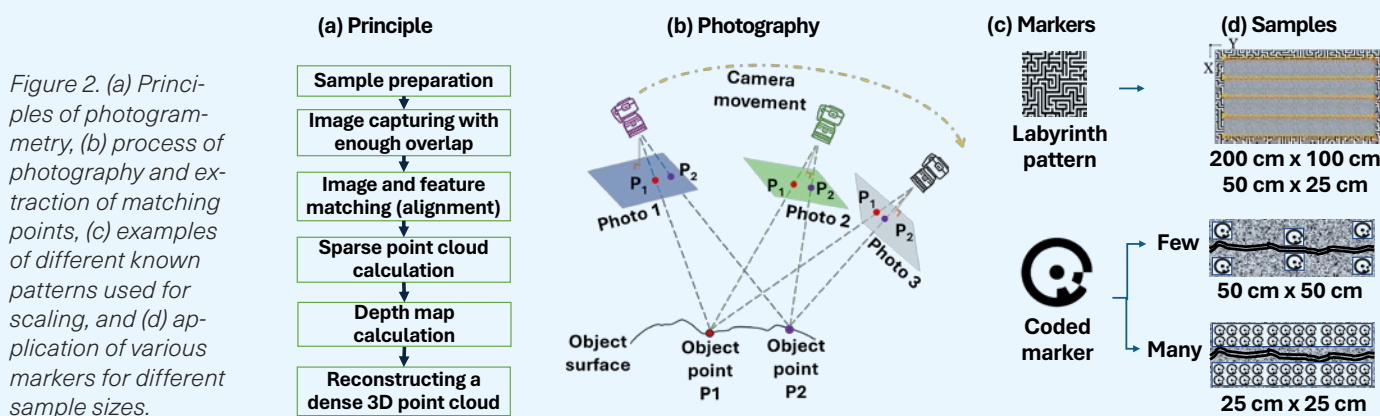


Figure 2. (a) Principles of photogrammetry, (b) process of photography and extraction of matching points, (c) examples of different known patterns used for scaling, and (d) application of various markers for different sample sizes.

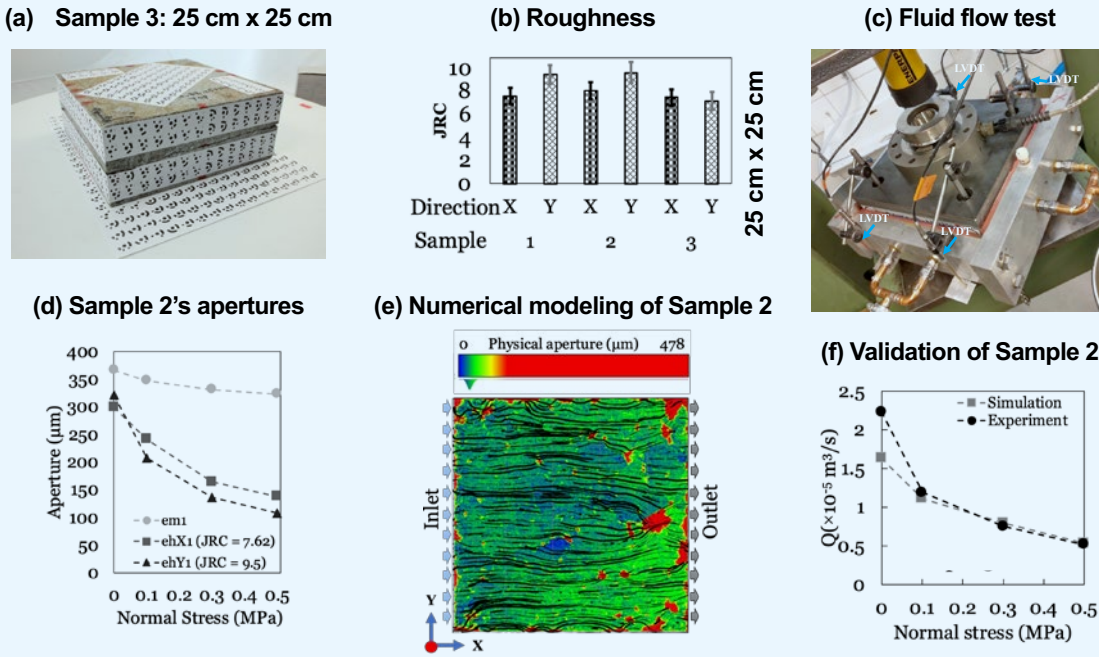


Figure 3. (a) A real sample with dimensions 25 cm × 25 cm, (b) photogrammetric roughness results for directions X and Y for three 25 cm × 25 cm samples, (c) fluid flow test setup, (d) physical and hydraulic apertures of Sample 2 obtained using the Forchheimer equation for directions X and Y, (e) numerical modeling of fluid flow for Sample 2 without normal stress under a pressure gradient of 60 kPa/m, and (f) validation of numerical modeling for Sample 2 under a pressure gradient of 40 kPa/m in direction X with varying normal stresses.

kPa/m in the X direction (Figure 3f). The numerical results closely matched the experimental findings, confirming the reliability of the photogrammetric models.

**Scale effect on shear behavior and fluid flow behavior**

Direct shear tests were conducted on two sample sizes (25 cm × 50 cm and 100 cm × 200 cm), and peak friction angles were calculated. The roughness of the samples was measured using a profilometer and photogrammetric data analysis ( $Z_2$  and  $Z'_2$  methods). These methods were developed by analyzing and digitizing 10 standard profiles suggested by Barton and Choubey [4] at different sampling intervals to estimate JRC [5].

To measure roughness using photogrammetric 3D models, three profiles were extracted from each surface and rasterized with a 0.5 mm sampling interval. The Joint Roughness Coefficient (JRC) was then calculated for each profile and averaged for each sample.

The JRC obtained from the  $Z_2$  method is not scaled for different sample sizes, so the scale correction suggested by Barton and Bandis [6] was applied to both the pro-

filometer data and the JRC based on  $Z_2$ . In contrast, the  $Z'_2$  method accounts for the scale effect when analyzing different sample sizes. Peak friction angles were then calculated for all methods following Barton and Bandis' criterion [6].

For both sample sizes, the scaled data of profilometry and  $Z_2$  for the 100 cm × 200 cm sample closely matched the ex-

perimental results, while  $Z'_2$  showed good agreement for both sizes. Figure 4a shows the negative scale effect for peak friction angles from shear tests and photogrammetric predictions using  $Z'_2$ .

To investigate the scale effect on fluid flow, the bottom photogrammetric 3D surface of a 200 cm × 100 cm sample was divided into three 100 cm × 100 cm sub-

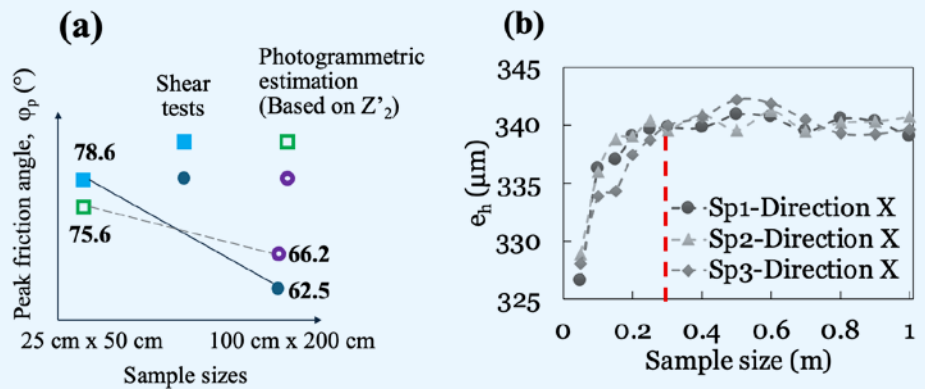


Figure 4. Negative scale effect observed from direct shear tests for sample sizes 25 cm × 50 cm and 100 cm × 200 cm, with peak friction angles estimated using the  $Z'_2$  method and predicted by the Barton and Bandis criteria, and (b) hydraulic apertures for subsamples ranging from 5 cm × 5 cm to 100 cm × 100 cm, extracted from three 100 cm × 100 cm samples derived from the bottom half of the 3D photogrammetric model.

samples. Each section was further subdivided into smaller samples, ranging from 5 cm × 5 cm to 100 cm × 100 cm. The surfaces were duplicated and moved by 350 micrometers, close to the initial physical aperture of the 25 cm × 25 cm samples. Fluid flow simulations were then conducted for all subsamples under the same pressure gradient (20 kPa/m to 100 kPa/m with 20 kPa/m intervals).

The results indicated that fluid flow was nonlinear with increasing pressure gradient. Beyond a sample size of 30 cm, the scale effect on hydraulic aperture was

negligible and stabilized at larger sizes (Figure 4b). This size can be referred to as the Representative Element Surface (RES), beyond which no significant scale effect is observed.

In conclusion, this dissertation suggests a high-precision photogrammetric method to evaluate roughness and physical aperture, which helps estimate and predict shear behavior and hydromechanical properties of single rough fractures at different scales. Additionally, photogrammetric 3D models can be used for numerical modeling. The dissertation also shows

that the scale effect on shear behavior is negative, while no significant scale effect on fluid flow is observed for sample sizes beyond 30 cm.

*The doctoral dissertation “Photogrammetry for characterizing rock fracture roughness, physical aperture, and hydromechanical properties” by the author was successfully defended on the 11th of October 2024 at Aalto University, Espoo, Finland. The School of Engineering approved the dissertation on the 31st of October 2024.*

## REFERENCES

- [1] Hakami E. Aperture distribution of rock fractures. Royal Inst. of Tech.; 1995.
- [2] Tatone BS, Grasselli G. Quantitative measurements of fracture aperture and directional roughness from rock cores. *Rock mechanics and rock engineering*. 2012 Jul;45:619-29. doi:10.1007/s00603-011-0219-5
- [3] An P, Fang K, Jiang Q, Zhang H, Zhang Y. Measurement of rock joint surfaces by using smartphone structure from motion (SfM) photogrammetry. *Sensors*. 2021 Jan 30;21(3):922. doi:10.3390/s21030922
- [4] Barton N, Choubey V. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock mechanics*. 1977 Dec;10:1-54. doi:10.1007/BF01261801
- [5] Kulatilake PH, Anka ML. Rock Joint Roughness Measurement and Quantification—A Review of the Current Status. *Geotechnics*. 2023 Mar 25;3(2):116-41. doi:10.3390/geotechnics3020008
- [6] Barton N, Bandis S. Effects of block size on the shear behavior of jointed rock. In *ARMA US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium 1982* Aug 25 (pp. ARMA-82). ARMA.

## WRITER



### D.Sc. Masoud Torkan

Postdoctoral researcher at Fractuscan Oy  
 Visiting researcher at Aalto University  
 masoud.torkan@fractuscan.fi  
 masoud.torkan@aalto.fi

# AKATEMIKKO ERKKI LAURILA HAKI RATIONAALISTA KESKUSTELUA ”ASIOIDEN TODELLISESTA LUONTEESTA” YDINVOIMA-ASIASSA

**Y**ksi vaikuttavimmista kohtaamisista ni ihmisistä oli Erkki Aukusti Laurila (1913–1998). Hän oli suomalaisen ydinvoiman uranuurtaja ja tieteen vaikuttaja.

Laurila sai urallaan paljon aikaan, mutta yksi hänen saavutuksistaan jäi mielestäni suorastaan historialliseksi teoksi. Hän nimittäin vaikutti asiantuntijana käytetyn ydinpolttoaineen palauttamiseen Suomesta Neuvostoliittoon.

Suomi pääsi näin eroon käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelykysymyksestä, josta tuli muun muassa Saksassa vaikea poliittinen tekijä ja lyömäase ydinvoiman vastustajille. Palautuksella oli siis kauaskantoiset vaikutukset suomalaisen ydinvoiman tulevaisuuteen. Ratkaisua ei välttämättä ymmärretty Suomen ulkopuolella.

Jouduin 1980-luvun alussa Ruotsissa Jönköpingissä kiusalliseen tilanteeseen. Olin julkisessa pohjoismaisessa keskustelutilaisuudessa läsnä lehtimiehenä. Minua pyydettiin kuitenkin jonkinlaisena ”asiantuntijana” vastaamaan ruotsalaisten ydinvoiman vastustajien kysymykseen Loviisan ydinvoimalan käytetyn polttoaineen palauttamisesta Neuvostoliittoon.



**Risto Valkeapää**  
Tietokirjailija  
risto.valkeapaa@gmail.com

Ruotsalaiset ydinvoiman vastustajat pitivät palauttamista moraalittomana, sillä polttoaineen oletettiin menevän Neuvostoliitossa jälleenkäsitteltäväksi. Jälleenkäsittely puolestaan nähtiin linkkinä pommipolton valmistamiseen.

Mikä minä olin vastaamaan. Jotakin piti kuitenkin sanoa, kun minut oli vastaajaksi nakitettu. Asian selittäminen kouluruotsilani oli myös liian vaikea tehtävä, joten tyydyin kuitaamaan kysymyksen sanomalla, että tämä on poliittinen kysymys, enkä journalistina ole kykenevä vastaamaan siihen.

Olisin ehkä paremmalla kielitaidolla voinut kertoa suomalaisesta maassaan vaikutusvaltaisesta akateemikosta Erkki Laurilasta, joka oli jo 1950-luvulla keksinyt, että käytetystä ydinpolttoaineesta oli kätevin tapa päästä eroon palauttamalla se Neuvostoliittoon. Laurila neuvoi poliitikkoja polttoaineen palauttamiseen. Ja ulkoistihan Ruotsikin jälleenkäsittelyn Englantiin ja Ranskaan, turha teidän on meitä suomalaisia moralisoida. Jätin kuitenkin kuitaamatta.

## VANKKA TIETEELLINEN PERUSOPISKELU

Erkki Laurila opiskeli Helsingin yliopiston matemaattisluonnontieteellisessä tiedekunnassa matematiikkaa, fysiikkaa, kemialla ja tähtitiedettä. Hän valmistui maisteriksi neljässä vuodessa. Laurila opiskeli pienen henkilökohtaisen lainan turvin ja eli kertomansa mukaan opiskeluaikansa suoranaissessa köyhyydessä. Rahaa ei riittänyt edes kunnolla ruokaan, ja opintojen valmistuttua hän totesi painonsa pudonneen 15 kiloa.

Erkki Laurila meni 1930-luvun lopulla naimisiin Kerttuli os. Leiwon kanssa. Heille syntyi neljä lasta. 1970-luvulla he muuttivat Porvooseen.

Laurilan väitöskirja Helsingin yliopiston fysiikan laitoksella valmistui 1941. Valmistuttuaan tohtoriksi hän olisi halunnut kansainväliseen tutkijakoulutukseen, mutta sitten tuli sota, joka teki nämä ajatukset mahdottomiksi.

Laurila oli keksijä, jolta syntyi useita patenteja. Hän jätti ensimmäiset patenttihakemuksen vuonna 1944. Vuonna 1945 hänet valittiin Teknillisen korkeakoulun professoriksi vasta perustettuun teknillisen fysiikan oppiaineeseen.

Hän toimi ydinvoimakysymysten johtavana neuvonantajana. Kauppa- ja teollisuusministeri Aarre Simonen teki Laurilasta vuonna 1955 atomienergiakomitean puheenjohtajan. Laurila halusi kuitenkin komitean nimeksi energiakomitea. Hänen mielestään atomienergiiaan piti suhtautua terveeseen rationaalisesti eikä nostaa sitä ylisuureen arvoon energiakonaisuudessa.

Laurila sai tärkeää perustietoa ydinpolttoaineen kierron ongelmista ja jälleenkäsittelyn vaatavuudesta vuoden 1955 syksyllä stipendimatalla USA:ssa. Silloin elettiin Suomessakin jonkinlaista ydinvoimainnostuksen aikaa, mutta Laurilalle valkeni Jenkeissä, että kaikki optimistiset puheet ydinvoiman nopeasta läpimurrosta ovat suoraan sanoen pelkkää puppua, ja että on kokonaan unohdettu kertoa niistä vaikeuksista, joita energiantuoton yhteydessä syntyvät radioaktiiviset jätteet tulevat tuottamaan.

Vuonna 1957 perustettiin Energia-komitean ehdotuksesta Atomienenergianeuvottelukunta, jonka puheenjohtajaksi Laurila nimitettiin seuraaviksi 20 vuodeksi.

## LAURILALLA OLI KANSAINVÄLINEN NÄKÖKULMA

Laurilan kansainvälinen henkireikä oli toimiminen atomienergiajärjestön IAEA:n hallintoneuvostossa. Hän oli mukana rauhanomaisen ydinvoiman maailmanlaajuisessa edistämisessä.

Ydinvoimakysymys oli Laurilan mukaan rauhanomaisenakin suurvaltojen valtapelin väline, ja Suomi oli altis joutumaan pelinappulaksi tuossa pelissä. Loviisan ydinvoimalan hankinta Neuvostoliitosta oli hänen mielestään poliittista peliä, ja siihen piti suhtautua sen mukaisesti. Suomalaisten piti pitää pintansa.

Meidän piti vaatia maassamme länsimaisten laatunormien soveltamista ja länsimaista turvallisuusajattelua. Käytännössä kyse oli amerikkalaisista ASME-normien noudattamisesta ja oman tur-



vallisuuskulttuurin muodostamisesta. Näiden pelisääntöjen noudattamista vaa-  
dittiin myös neuvostoliittolaiselta osapuol-  
elta Loviisan projektissa.

## ”MINULLA OLI SUOMEN KIRKKAIMMAT AIVOT”

Laurila otti usein itse yhteyttä sanoma-  
lehtien toimituksiin. Niinpä Helsingin  
Sanomien Porvoon aluetoimituksen pu-  
helin pirahdi maanantaina 26. toukokuuta  
aamupäivällä vuonna 1980. Nostin luurin  
ja vastasin. Siellä oli Erkki Laurila.

Hän oli lukenut edellisenä viikonlop-  
puna ilmestyneen juttuni Loviisan ydinvoi-  
malan paineastian haurastumisesta. Jutun  
otsikkona oli ”Loviisan paineastian” paina-  
jaiset. Siinä kerrottiin, että suomalais-neu-  
vostoliittolaisen teknisen yhteistyön saa-  
vutuksessa oli vakavia ydinturvallisuuteen  
vaikuttavia heikkouksia. Laurila kutsui mi-  
nut kotiinsa Porvoon Tarkkisissa.

Erkki ja Kerttuli Laurila olivat jo joita-  
kin vuosia asuneet puutarhan ympäröimää  
isoa omakotitaloa Porvoossa. En ollut ai-  
kaiemmin tavannut akateemikko Laurilaa.  
Hänen ansionsa toki tiesin ja jännitin hie-  
man kohtaamistamme. Jännitys suli, kun  
hän tuli pihalla vastaan käsi ojossa. ”Minä  
olen Erkki ja minulla oli Suomen kirkkai-  
mat aivot”, Laurila lausui. Siinä sitten tehtiin  
sinunkaupat saman tien.

Lähestyminen oli Laurilan suoraviivai-  
suutta. Suoraan mentiin myös paineas-



Kirja ”Muistinvaraisia tarinoita” vuodelta 1982.

tiajuttuun. VVER-440-reaktorin paineas-  
tian laatuksymykset olivat tuttu juttu  
Laurilalle, joka oli perehtynyt fysiikassa  
erityisesti materiaalikysymyksiin. VTT oli  
tutkinut Loviisan ydinvoimalan ykkösyksi-  
kön paineastiaterästä jo viitisen vuotta en-  
nen juttuni ilmestymistä.

## KEKKOSEN NEUVONANTAJA

Laurilalle kehittyi erityisrooli presidentti  
Urho Kekkosen (1900-1986) neuvonan-  
tajana ydinvoima-asioissa. Yhteydenpito  
alkoi jo Kekkosen pääministeriaikana  
1950-luvulla.

Suorapuheinen Laurila on todennut  
myös, että ensimmäisen ydinvoimalaitok-  
sen tilaaminen Neuvostoliitosta oli selvästi  
poliittinen toimenpide. Hän itse ei halunnut  
leimaantua poliittisesti, mutta yleisesti oli  
tiedossa, että hän oli ollut kokoomuksen  
listoilla presidentin valitsijamiesehdoka-  
kana Paasikiven kannattajana 1950 ja  
Kekkosen 1962. Tästä poliittisesta puo-  
lesta hän ei ollut innostunut puhumaan.

Tiedotusvälineitä ja toimittajia hän  
haukkui estottomasti. Mediassa hänestä  
oli tehty ”ydinfyysikko”, jota hän ei mieles-  
tään ollut. Olennaisena perusteluna hän  
esitti sen, ettei hänellä ollut esittävä yhtään  
julkaistua tutkimusta alalta.

Keskusteluissamme Laurila puhui  
usein Aarre Simosesta (1913-1977). Hän  
ja Aarre olivat ikätovereita. Kumpikin oli  
sotilasarvoltaan kapteeni. Simonen oli  
koulutukseltaan juristi. Muistinvaraisissa  
tarinoissa Erkki kirjoitti: ”Niistä lukuisista  
henkilöistä, jotka minun ylimpinä esimie-  
hinäni olivat siihen mennessä ennättäneet  
olla, hän oli nimittäin ainoa, joka terävän  
älynsä turvin oli enemmän kuin riittävästi  
selvillä asioiden todellisesta luonteesta.”

”Asioiden todellisen luonteen” pohdin-  
ta lienee ollut jonkinlainen punainen lanka  
keskusteluissamme. Erkki lienee yrittänyt  
päästä tämän tyyppiin keskusteluihin  
viestinnän professorien kanssa.

Kerroin hänelle, että olin aloittanut  
maisterin tutkinnon Tampereen yliopis-  
tossa vuonna 1979. Opettajani oli profes-  
sori Kaarle Nordenstreng. Siitä tiedosta  
Erkki innostui. Hän oli yrittänyt saada me-  
diakoulutusta rationaalisille uomille. Hän  
oli myös yrittänyt saada Nordenstrengin  
kanssa aikaan keskustelua ydinvoimaky-  
smyksestä tiedottamisessa.

Hän ja Suomen johtava säteilyturvalli-  
suuden asiantuntija Antti Vuorinen olivat  
kutsuneet 1970-luvun alkupuolella nuoren  
tiedotusopin professorin Nordenstrengin  
kuultavaksi siitä, mikä on median vaikutus  
yleisen ydinvoimamielipiteen muodostu-



Emeritus-professori Kaarle Nordenstreng tarkastelee maaseutuasunnollaan Uuden Suomen numeroa 1980-luvun alusta. Siinä on juttu akateemikko Laurilan ajatuksista. Jutussa käsiteltiin myös tapaamista nuoren professori Nordenstrengin kanssa 1970-luvun alussa.

miseen. Nordenstrengilla ei ollut tarjota  
asiasta varsinaista tutkimustietoa, vaan  
ainoastaan varoitus olla liioittelematta leh-  
distön merkitystä. Keskustelulle ei löytynyt  
rakentavia yhtymäkohtia.

Uusi-Suomi julkaisi sitten vuonna 1981  
jutun, jossa kerrottiin, että rationaalinen  
keskustelu ydinvoimasta ei onnistunut ja  
viitattiin Laurilan vuosien takaiseen tapaa-  
miseen Nordenstrengin kanssa. On siis to-  
dettava, että 1970-luvun alun ja 1980-lu-  
vun alun välisellä aikajaksolla ei ilmeisesti  
Suomessa merkittävästi edistytty ratio-  
naalisessa keskustelussa ydinvoima-asias-  
sa ainakaan Laurilan ja tiedotusopin asian-  
tuntijoiden välillä.

Meillä porvoalaisilla, Erkillä ja minulla oli  
paikallisesti yhteinen konteksti, joten juttua  
syntyi ja sitä riitti. Pyrin toisaalta keskuste-  
lemaan ”asioiden todellisesta luonteesta”  
Laurilan kanssa mielellään ulkoilmassa to-  
rin kulmalla tai puistossa. Laurilan kirjasto-  
luennot sisätalossa olivat nimittäin minulle  
kärsimystä, sillä hän puhalteli surutta sa-  
vua silmiini, milloin sikareista, milloin pii-  
pusta. Koiransa cockerspanieli puolestaan  
pureskeli naskalinterävillä hampaillaan kä-  
siäni, kun istuin akateemikon kuunteluop-  
pilaana. Totesinkin, että olette samanlaisia  
isäntä ja koira, kiusaatte viattomia ihmisiä.  
Sekös Erkkiä nauratti.

Viimeisessä keskustelussamme Erkki  
totesi, että yksi asia on absoluuttinen – me  
kaikki vanhenemme. 🌀

# MIELENRAUHAA JA TOIMINTAKYKYÄ VIESTINNÄLLÄ JA VIESTINNÄSTÄ

**YSTÄVÄNPÄIVÄ TULI JA MENI** ja johdatti miettimään ystävyden ja ystävien merkitystä. Ei vain yksilöiden välillä vaan myös laajemmin, yrityksissä, yhdistyksissä, yhteisöissä, virastoissa, instituutioissa, järjestöissä, valtioissa ja niiden välillä. Ja myös laadullisesti, yhteistyössä, keskinäisessä kilpailussa ja kilvoittelussa, pyrkimyksissä saavuttaa onnistuneita ratkaisuja, päästä tavoitteisiin. Silloinkin kun kyse on epäonnistumisesta, missä ystävä ymmärtää, tukee ja auttaa. Tai vastavuoroisesti, ystävien kesken uskottavammin altruistisesti eli pyyteettömästi kuin laskelmoivan itsekkäästi.

Ystävänpäivän viikonloppuna järjestettiin Münchenin turvallisuuskonferenssi (MSC) ja heti sen jälkeen Pariisissa suurten EU-maiden ja Britannian hätäkokous. Todennäköisesti media tulee pitämään MSC-2025-kokousta sellaisena historiallisena käännekohtana, jossa stabiili maailmanjärjestys keikahti ennustamattoman epävarmaksi labiiliksi maailmanjärjestykseksi.

Tulevaisuuden ennustaminen on tunnetusti skenaarioperusteista ja päivittyä sitä mukaa, kun elää sen matkassa pidemmän aikaa. Tällaisessa vakavan vaikeassa asiassa sallittaneen älyllinen huumori, jolloin mieleeni tulee TKK:n professori Martti Tiuri, vuosituhatien vaihteessa eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan puheenjohtaja. Kansanedustajien vanhimpana hän perusteli pätevyytään puheenjohtajaksi sillä, että hänellä oli kansanedustajista pitkäaikaisin kokemus tulevaisuudesta. Osuvasti sanotti professorilta!

**KUINKA HISTORIAN KÄÄNNEKOHTIEN MERKITYSTÄ** voisi arvioida tai arvottaa? Yksi tapa on valikoiva kronologia esihisto-

riasta keskiajan ja uuden ajan aikamatkana ensimmäisen maailmansodan jälkeiseen lähihistoriaan ja edelleen 2000-luvun nykyhistoriaan. Toinen luonteva tarkastelukriteeri perustuu ihmisen elinikään, 80-100 vuotta, joka käsittää 3-4 viimeistä sukupolvea. Eri sukupolvilla on luonnollisesti eri pituinen ja laadullinen tunneside ja suhtautuminen lähi- ja nykyhistoriaan.

Listataanpa noita viime ja tämän vuosisadan historian isoja tapahtumia ja erilaisia käännekohtia. Paljon niitä on. Varhaisinta aikakautta ovat ensimmäinen maailmansota ja sen suuret yhteiskunnalliset mullistukset, uudet itsenäiset valtiot, Kansainliitto, hyperinflaatio ja Hitlerin valtaannousu.

Toisen pitkähkön aikakauden aiheita ovat toinen maailmansota, Yhdistyneet kansakunnat (YK), Nato, Korean sota, Unkarin kansannousu, Kuuban kriisi, Kennedyn murha.

Kolmannen aikakauden aiheita ovat muun muassa Vietnamin sota, Prahan kevät ja Neuvostoliiton invaasio Tšekkoslovakiaan, Israelin ja arabimaiden kuuden päivän sota, 1. öljykriisi, ETYK, Iranin islamilainen kansannousu, Gorbatschovin ja Reaganin aika, Neuvostoliiton romahdus.

Nykyhistoriaa ovatkin jo Balkanin sota, World Trade Center -isku ja terrorismin vastainen sota, EU:n ja Naton laajenemiset, arabikevät, Putinin nousu ja uho, ilmastokriisi, koronapandemia, Venäjän hyökkäyssota Ukrainaan, Hamasin hyökkäys Israeliin seurauksenaan Gazan sota.

Onko listaus riittävän kattava kuvaus viime vuosisadan alkuvuosikymmenistä nykyhetkeen? Tuskinpa vaan, mutta nykyhetkessä vuonna 2025 kuitenkin ollaan ja katse "pallossa" eli tulevassa. Paljon ol-

laan ihmiskuntana läpikäyty ja niistä selvitty. Kuten jääkiekon ex-maajoukkuevalmentaja Hannu Aravirta tapasi sanoa: "Tähän on tultu, tästä on hyvä (= syytä) jatkaa." Tai kuinka ex-kansanedustaja Tapani Tölli laittamattoman hauskaasti sutkautti: "Siitä on lähdeittävä, että tähän on tultu."

**NÄIN SITTEN OLLAAN TÄSSÄ AJASSA** ja katse tulevassa. Entä sitten, miten tästä eteenpäin? Ranskalainen filosofi ja matemaatikko René Descartes kiteytti teorianaan: "Ajattelen, olen siis olemassa." Ajattelu on yksilön toimintaa ja toimintaa. Isommat yksiköt kuten yhteisöt, yritykset, instituutiot, valtiot ja kansainväliset järjestöt eivät ajattele yksilöinä vaan kollektiivina, yksilöiden hybridinä, eri painoilla ja näkökulmilla. Ja viime kädessä yksilö yksin tuottaa ja vastaa omasta ajattelustaan. Kysymys kuuluukin: kuinka yksilö luovii ja järjestellee oman elämänsä tärkeitä asioita, oloansa, eloansa, mielenrauhaansa ja toimintakykyänsä?

Tätä yksilön kykyä ja joustavuutta selviytyä erilaisista terveydellisistä, taloudellisista, sosiaalisista ja muista haasteistaan ja vastoinkäymisistään ja elää omaa elämänsä mahdollisimman tyytyväisenä ja toimintakykyisenä, sitä haluan tässä pakinnassani pohtia.

**ENSIMMÄINEN FOKUKSENI** on suomalaisessa rivikansalaisessa, koska itse olen suomalainen rivikansalainen, lomakkeiden täyttöohjeitten "kansalainen Matti Meikäläinen", mies kun olen. Nainen jos olisin, olisin tietystikin "kansalainen Maija Meikäläinen". Tämä riittääköön esimerkkinä eri identiteettiryhmistä, niitä kun on pilvin pimein.

On erilaisia väestöryhmiä, ammattikuntia, ikäryhmiä, ryhmiä harrastuksissa, ideologiaryhmiä, poliittisia tahoja, vähemmistöryhmiä, ylipäättään ryhmiä eri aloilla ja aihepiireissä. Olennaista on, että pakinnointini fokus on yksilössä, ei yhteisössä eikä yhteisöissä.

**TOINEN FOKUKSENI** on viestinnässä. Sillä lailla viestinnässä, että pohdin sitä yksilön näkökulmasta tietotekniikan ilmaisuihin inputina tai outputina, sisään tulevana tai ulospäin suuntautuvana tiedon kulkuna, jotka ovat kaksi olennaisesti eri asiaa. Viestinnän synonyymi on vuorovaikutus, siis kahdensuuntainen tiedonkulku. Joskaan niitä kahta termiä ei välttämättä tunnista samaksi käsitteeksi. Yhteisöjen informaatiotulvassa viestintä on valtaosin kahdensuuntaista, mutta yksilötasolla on paljon enemmän joko-tai-viestintää, tulevaa tai lähtevää.



*Kansallismaisemaa Kolilta (kuva: Santeri Liukkonen, Unsplash).*

Yksilö voi säädellä sisältöä ja toimia hyvinkin paljon itsenäisesti. Hän voi osatessaan säädellä ja muokata vastaanottaansa informaatiotulvaa niin, että osaa säilyttää mielenrauhansa ja toimintakykynsä mahdollisimman hyvänä. Selkokielellä ilmaisten hän hyvin taitaessaan osaa torjua itseään kuormittavan tulevan informaatiovirran ja joskus suorastaan -tulvan tai -ähkyn haitalliset seikat ja toisaalta hyödyntää sen mahdolliset hyödylliset ja myönteiset seikat. Hän ikään kuin voimaantuu tulevasta viestinnästä.

Taitavana viestijänä hän todennäköisesti osaa voimaantua myös ulos päin suuntautuvan viestintänsä keinoin, mikä sekin edistää hänen mielenrauhaansa ja toimintakykyänsä, ja myös vastaanottavan tahon vastaavia ominaisuuksia. Tällainen viestintä voi olla erityisen merkityksellinen asia yksilön läheisten ja ystäväpiirin suuntaan.

**TOTTAKAI YKSILÖN** pitää osata käsitellä, ymmärtää, muokata, analysoida ja suodattaa myös globaalien maailman asioiden.

Mutta ei hänen tarvitse osallistua niihin aktiivisesti. Valtaosa informaatiotulvasta on muiden tahojen vastuulla olevia asioita. Elinympäristömme on demokraattinen, nimenomaan edustuksellisesti demokraattinen. Niinpä asioilla ja toiminnoilla on omat toimijat ja vastuuhenkilöt.

Rivikansalainen saa ja hänen kannattaakin säästää itseään, aikaansa ja ajankäyttöänsä oman elinpiirinsä asioihin. Yhteistyötä, työnjakoa ja rakenteellisesti oikeanlaista kansalaisvaikuttamista tämäkin. Ja oma aikakin riittää kaikkeen omaan tekemiseen paremmin. Sanonta "vähemmän on enemmän" pätee mitä suurimmassa määrin: oman tekemisen laatu paranee ja sen merkityksellisyys kasvaa, asiat saavat myönteisen sisällön ja kierteen.

**KOLMAS FOKUKSENI** on edustuksellisessa demokraatiayhteiskunnassa elämisessä sillä lailla, että rivikansalaisina kansallisissa vaaleissa äänestämällä ja ehdokkaina ja yritysten ja yhdistysten hallintoelimien työskentelyyn osallistumalla vaikuttamme omalla panoksellamme asioiden kulkuun. Kotimaan asioihin voi paremmin vaikuttaa kuin globaaleihin asioihin. Yksilön kannattaa ottaa se huomioon ajankäytössään ja toiminnassaan, sillä sellainen on pragmaattista realismia.

**NYKYÄÄN PUHUTAAN PALJON IHMISTEN** kasvaneesta ahdistuksesta omissa elinpiireissään, keillä lapsuuden ja nuoruuden opinahjoissa, keillä elämänsä ruuhkavuosissa, keillä varttuneemman iän työelämässä tai eläkeläisenä. Maailmantilanne on omiaan ahdistamaan mieltä. Näyttelijä Tom "Lassenpoika" Pöysti kiteytti äskettäin ahdistuksen olemuksen Ylen "Efter Nio"-ohjelmassa mieleenpainuvan hyvin ja uskottavasti: "Kaikki työ ja tekeminen ilman iloa, sydäntä ja tarkoitusta on tragedia."

Tämä pakina syntyi etelän koulujen hiihtolomaviikolla. Valitsin sen kunniaksi pakinan kuva-aiheeksi kesäisen valokuvan Kolilta, Suomen yhdestä rakastetuimmista kansallismaisemista, Sibeliuksen ja lankonsa Eero Järnefeltin sielunmaisemasta ja heidän luovan taiteensa innoittajasta. Luontoaiheisen valokuvan katselu rauhoittaa ja rentouttaa, niin omakohtaisesti kuin terveydenalan ammattilaistenkin mielestä.

Työpaikoilla avokonttoritilojen "särmiloosien" seinille katseenvangitsijoiksi kannattaisi ripustaa kauniita luontoaiheisiä maisema-, lintu- ja eläinkuvia. Se on yksi osanen tämän ajan työelämän ergonomiasta: niitä katsellessa silmä lepää, ajatus kulkee ja työtyytyväisyys paranee.

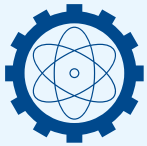
**Turvallisuusfilosofi**

**Palautusosoite:**

Suomen Atomiteknillinen Seura  
c/o Jenna Järvenpää  
PL 1000  
02044 VTT

**Osoitteenmuutokset:**

sihteeri@ats-fns.fi



**ATS**

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

**KANNATUS-  
JÄSENET**

AFRY FINLAND OY

FINNUCLEAR RY

FORTUM POWER AND  
HEAT OY

KONECRANES OYJ

HELEN OY

LUT-YLIOPISTO

PAGODE OY

PLATOM OY

POHJOISMAINEN  
YDINVAKUUTUSPOOLI

POHJOLAN VOIMA OYJ

POSIVA OY

STEADY ENERGY OY

SWECO FINLAND OY

TEKNOLOGIAN TUTKIMUS-  
KESKUS VTT OY

TEOLLISUUDEN VOIMA OYJ

WESTINGHOUSE