

# ATS

2|2024

Vol. 53

## YDINTEKNIikka

---

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

---

### Valmius syntyy harjoittelemalla

Valmiustilanteiden harjoittelu on keskeinen turvallisuustekijä ydinlaitoksilla, ja niiden suunnitteluun ja toteutukseen tarvitaan laajaa yhteistyötä.

### Uusia materiaaleja koviin olosuhteisiin

Kansainvälisen NOMATEN-huippututkimuskeskuksen yhtenä tehtävänä on kehittää säteilyä, lämpötilaa ja korroosiota kestäviä materiaaleja uuden sukupolven ydinvoimalaitosten tarpeisiin.

### YJK-kurssi uudistaa kulttuuria

Kansallinen ydinturvallisuus- ja ydinjätehuoltokurssi on jakanut tietoa ja siirtänyt osaamista jo 20 vuoden ajan, mutta kurssin osallistujat myös uudistavat ydinalan kulttuuria.



## Julkaisija / Publisher

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

## Johtokunta / Board

### Puheenjohtaja / President

DI Hanna Tynys  
puheenjohtaja@ats-fns.fi

### Varapuheenjohtaja / Vice President

Prof., TkT Samuli Siltanen  
samuli.siltanen@helsinki.fi

### Sihteeri / Secretary General

FM, DI Jenna Järvenpää  
sihteeri@ats-fns.fi

### Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Elina Syrjälähti  
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

### Jäsenet / Board Members

Dos. Taina Kurki-Suonio  
taina.kurki-suonio@aalto.fi

TkT Antti Snicker  
antti.snicker@vtt.fi

DI Topi Tupasela  
topi.tupasela@stuk.fi

DI Janne Valkonen  
janne.valkonen@platom.fi

## Toimihenkilöt / Functionaries

### ATS Young Generation

Ins (AMK) Juuso Soikkeli  
juuso.soikkeli@konecranes.com

### Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

MSc Ana Jambrina  
ana.jambrina@vtt.fi

### Women in Nuclear Finland

FM Jenna Levo  
jenna.levo@tvo.fi

### www-vastaava / Webmaster

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

### ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkL Eero Patrakka  
eero.patrakka@kolumbus.fi

## Toimitus / Editors

### Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

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

### Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

FT Antti Rätty  
antti.ratty@vtt.fi

### Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

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

### Ulkoasu ja taitto / Layout

Katariina Korhonen  
Creatus  
katariina@creatus.fi

### Toimitus / Editorial Staff

FM Sophie Haapalehto  
sophie.haapalehto@posiva.fi

DI Klaus Kilpi  
klaus.kilpi@gmail.com

TkT Henri Loukusa  
henri.loukusa@gmail.com

DI Alekski Savolainen  
aleksi.savolainen@tvo.fi

FT Mervi Söderlund  
mervi.soderlund@fortum.com

## Toimituksen yhteystiedot

### ATS Ydintekniikka

c/o Jarmo Ala-Heikkilä  
PL 15600  
00076 Aalto  
p. 050 433 1198

### Painopaikka

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.

# Pieni on kaunista, mutta onko pieni realistista?

**P**IENREAKTOREILLA ELI SMR:ILLA ON potentiaalia tuottaa ilmastoystävällistä energiaa, sekä perinteistä ydinsähköä että lämpöä erilaisiin tarpeisiin: asuntojen lämmitykseen, teollisuuden prosesseihin ja suolan poistoon merivedestä. Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestön ydinenergiatoimisto OECD/NEA julkaisi alkuvuodesta SMR-tilannekatsauksen, joka löytyy hakusanoilla “NEA small modular reactor dashboard”.

Lähes 200-sivuisessa raportissa käydään läpi 98 SMR-konseptia, jotka ovat eri kehitysvaiheissa. Raportti pyrkii nimenomaan selvittämään, millä kehitysasteella nämä konseptit ovat ja toisaalta minkälaisia pullonkauloja niiden käytännön toteutuksessa on.

SMR-konseptien suunnittelu ei ole helppoa, mutta NEA-raportin perusteella haasteet kas-

vavat merkittävästi suuremmiksi, kun aletaan puhua käytännön toteutuksesta. Silloin tulevat ratkaistaviksi projektinhallinta, toimitusketjut tarvittaville materiaaleille ja osille, luvitus ja rahoitus.

Erityiskysymyksenä monissa pienreaktori-konsepteissa on kaavailtu käytettävän sellaisia ydinpolttoaineita, joita ei tällä hetkellä valmisteta teollisessa mittakaavassa. Erityisesti muissa kuin kevytvesikonsepteissa kaivataan nykyistä korkeamman väkevöintiasteen uraanipolttainetta (HALEU eli 5–20%), joka saattaa sitä paitsi olla TRISO-muodossa taikka uraaninitridiä tai -silisidiä. Sulasuolakonseptit ovat vielä oma lukunsa.

Pienreaktorien toteutuksessa on myös insinööriluokittelussa pehmeämpiä haasteita: osaavan työvoiman saatavuus ja yleisen hyväksyttävyyden varmistaminen vaativat ihan



muuta osaamista kuin edellä mainitut teknisemmät kysymykset. Pehmeys ei tee näitä haasteita helpommin ratkaistaviksi, ehkä jopa päinvastoin.

Suomalaista pienreaktoria ei tässä raporttiversiossa esitelty, mutta asia saattaa muuttua seuraavassa painoksessa. Toivotan suomalaisille ja muillekin tosissaan kehitettävälle pienreaktoreille menestystä NEA-kojelaudan maailmassa – mutta erityisesti reaali maailmassa!

**Jarmo Ala-Heikkilä**

Vastaava päätoimittaja

## SISÄLTÖ

### Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Pieni on kaunista, mutta onko pieni realistista?.....	3
Pääkirjoitus: Posivalla keskeinen rooli ydinvoiman elinkaareessa.....	4
Editorial: Posiva plays a key role in the life cycle of nuclear power.....	5
Pakina: Ydinvoiman kevät.....	31

### Tapahtumat

Brüsselin huippukokous oli ydinvoimamyönteisyyden huipentuma.....	6
Vuosikokous 2024 Tieteiden talolla.....	8

### Ajankohtaista

Mistä on valmiusharjoitus tehty?.....	12
Towards new materials resistant to temperature and radiation – collaboration between nuclear centres in Poland and Finland.....	15

### Tiede ja tekniikka

Fuusioyhtiöitä Pohjois-Amerikan luoteisosassa.....	18
<i>Tomas Lindén</i>	
Ydinturvallisuus- ja ydinjätehuolto-kurssi ydinvoimayhteisön osaamisen ja kulttuurin uusintajana ja uudistajana.....	24
<i>Maarit Laihonon</i>	
Diplomityö: OL3-laitosyksikön suorituskyvyn analysointi laitosdatan ja digitaalisen kaksosen avulla.....	29
<i>Aaro Antin</i>	

# Posivalla keskeinen rooli ydinvoiman elinkaareissa

**VASTUULLISUUS KUVAA** erinomaisesti Posivan roolia ydinvoiman elinkaareissa. Missään muualla maailmassa ei ole yhtä pitkällä käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisen aloittamista kuin Suomessa. Sinä päivänä, kun tuotannollinen loppusijoittaminen alkaa Posivalla 2020-luvun puolivälissä, elämme historiallisia hetkiä niin Posivalla, Suomessa kuin maailmanlaajuisestikin – hetki, jolloin ydinvoiman elinkaaren puuttuva palanen on saanut lopullisen sinettinsä.

Perustehtävänäme Posivalla on loppusijoittaa omistajiemme TVO:n ja Fortumin käytetty ydinpolttoaine turvallisesti ja kustannustehokkaasti syvälle kallioperään. Meillä on ratkaisu, joka tekee ydinvoimasta entistäkin kestävämmän tuotantomuodon.

Posiva aloitti toimintansa tutkimusorganisaationa. Sen jälkeen käynnistyi varsinaiseen

loppusijoitustoimintaan tähtäävä iso EKA-projekti. Posivan vahvin brändi on ONKALO®, joka tunnetaan laajalti ydinvoimapiireissä maailmalla. Puhuttaessa ONKALosta se voisi kuvastaa koko meidän loppusijoituksen järjestelmää, vaikka se yhdistetäänkin monesti maan alla oleviin toimintoihin. EKA-projektissa rakennamme sekä maan päällä olevan kapselointilaitoksen että maan alla olevat tilat ja toiminnot mukaan lukien sinne tulevat tuotantolaitteet.

Kansainvälisesti hanke on esikuva koko maailmalle. EKA-projekti on ollut Posivan organisaatiolta erittäin hieno saavutus. Vuonna 2021 jätetyn käyttöluvhakemuksen sivumäärä on noin 17 000. Hakemukseen on tiivistetty vuosikymmenien työ. On vaikea mieltää paljon haastavampaa projektia kuin mitä loppusijoitusjärjestelmän määrittäminen ja tekeminen on.

Ensin on tutkittu millainen loppusijoitusjärjestelmän pitää olla, kun otetaan huomioon muun muassa mahdolliset maanjäristykset ja jääkaudet. Sitten on määritelty turvallinen loppusijoitusjärjestelmä, joka toteutetaan täysin siihen räätälöidyillä tuotantolaitteilla, joita ei löydy minkään sopimusvalmistajan tuotevalikoimasta.

EKA-projektin lopun lähestyminen tarkoittaa sitä, että olemme aloittaneet valmistautumisen varsinaiseen loppusijoitustoimintaan. Siksi Posiva perustettiin. Se on meidän perustehtävämme. Olemme uuden äärellä, mutta emme valmistautumattomia. Laitteiden testaus- ja käyttöönottovaiheessa organisaatiomme on ollut erittäin aktiivisesti mukana opettelemassa niiden käyttöä niin tuotantoon kuin kunnossapitoonkin.

Seuraavaksi muutamme organisaatiorakenteemme tuotantovaiheen tuoloksentekoon. Myös käyttöluvhakemuksen turvallisuusarvion käsittely tapahtuu useammassa vaiheessa (STUK, YTN, TEM ja Valtioneuvosto) ennen lopullista käyttö lupaa ja tuotannon aloittamista.

Erittäin tärkeä vaihe ennen loppusijoitustoiminnan aloittamista on

koko järjestelmän testaus. Tässä niin sanotussa yhteistoimintakokeessa testataan laitteiden saumaton toiminta ja organisaation valmius tuotantovaiheeseen huomioiden turvallisuuden eri osa-alueet.

Posivan strategiassa on visio olla ”maailman johtava loppusijoittaja”. Paitsi että aloitamme maailmassa ensimmäisenä käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisen, meidän toimintamme laadun pitää olla maailmanluokkaa. Olemme tunnustaneet eniten kehittämistä vaativat toiminnot ja alkaneet viedä kehitystä myös eteenpäin. Kiitos henkilöstön, olemme saaneet erinomaisia ideoita toiminnan kehittämiseksi.

Ydinvoiman elinkaaren tärkeästä roolistaan huolimatta Posiva on 2000-luvulla tuottanut myös paljon sosioekonomisia vaikutuksia niin Satakuntaan kuin ympäri Suomen. Tutkimusten mukaan vuosina 2001–2024 työllistimme välillisesti ja epäsuorasti noin 16 000 henkilötyövuotta. Ajanjaksoon osuu myös EKA-projekti. Tuotantovaiheessa Posiva työllistää Suomessa oman henkilökunnan lisäksi vuosittain noin 500–550 henkilötyövuotta. Tuotantovaihe kestää seuraavat sata vuotta.

Maailmanlaajuisesti loppusijoitusteollisuuden tarve tulee väistämättä kasvamaan. Ydinvoimaa on ollut käytössä jo pitkään ja uusia voimaloita rakennetaan. Tässä Posiva voi auttaa koko maailman ydinvoimateollisuutta sataprosenttisesti omistamansa tytäryhtiön, Posiva Solutionsin myymän asiantuntijuuden kautta. Tämä on myös henkilöstöllemme erinomainen paikka kehittää ja ylläpitää osaamistaan, kun yli 40 vuoden aikana hankittu kokemus voidaan valjastaa viemään eteenpäin globaalia vastuullista käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamista. Meillä on kivenkovaa osaamista, josta voimme maailmanlaajuisestikin olla ylpeitä.

## Ilkka Poikolainen

Toimitusjohtaja  
Posiva Oy  
ilkka.poikolainen@posiva.fi





# Posiva plays a key role in the life cycle of nuclear power

**S**USTAINABILITY IS AN EXCELLENT description of Posiva's role in the nuclear life cycle. Nowhere else in the world is the start of the disposal of spent nuclear fuel as far advanced as in Finland. On the day when Posiva begins the production phase of disposal in the mid-2020s, we will be living through a historic moment at Posiva, in Finland and globally – a moment when the missing piece of the nuclear life cycle will have been finally sealed.

Our fundamental mission at Posiva is to dispose of the spent nuclear fuel of our owners TVO and Fortum safely and cost-effectively deep in the bedrock. We have a solution that will make nuclear power an even more sustainable form of production.

Posiva started as a research organisation. After that, a large project called EKA was launched, aiming at the actual final disposal activity. Posiva's strongest brand is ONKALO®, which is widely known in nuclear circles around the world. When talking about ONKALO, it could be used to describe our entire final disposal system, although it is often associated with underground operations. In the EKA project, we are building both the above-ground encapsulation plant and the underground facilities and operations, including the production equipment that will be installed there.

Internationally, the project is a model for the whole world. The EKA project has been a great achievement for the Posiva organisation. The number of pages in the application for an operating licence submitted in 2021 is around 17,000. The application summarises decades of work. It is hard to imagine a much more challenging project than defining and building a disposal system.

The first step has been to study what the disposal system should be like, taking into account factors such as potential earthquakes and ice ages. Then a safe disposal system is defined, using fully customised production equipment that is not available on the stock list of any contract manufacturer.

The approaching end of the EKA project means that we have started to prepare for the

actual final disposal operation. That is why Posiva was established. It is our fundamental mission. We are on the verge of something new, but not unprepared. During the testing and commissioning phase of the equipment, our organisation has been very actively involved in learning how to use it, both for production and maintenance.

Our next step is to change our organisational structure to deliver results in the production phase. The safety assessment of the application for our operating licence will also be processed in several stages (Radiation and Nuclear Safety Authority, Advisory Committee on Nuclear Safety, Ministry of Economic Affairs and Employment, and the Government) before the final operating licence is issued and the production starts.

A very important step before the start of disposal activities is the testing of the whole system. This so-called integrated trial run tests the seamless operation of the equipment and the readiness of the organisation for the production phase, taking into account the different aspects of safety.

Posiva's strategy has the vision to be a "world leader in final disposal". Not only will we be the first in the world to start disposing of spent nuclear fuel, but the quality of our operations must be world class. We have identified the activities that need the most improvement and have started to drive the development forward. Thanks to our staff, we have received excellent ideas for improving our operations.

Despite its important role in the life cycle of nuclear power, Posiva has also had a major socio-economic impact in the 2000s, both in Satakunta region and throughout Finland. According to studies, we indirectly employed about 16,000 person-years between years 2001 and 2024. The EKA project also coincides with this period. During the production phase, Posiva employs in Finland, in addition to its own staff, about 500–550 person-years annually. The production phase will last for the next 100 years.

Globally, the need for the disposal industry will inevitably grow. Nuclear power has been in use for a long time and new plants are being built. This is where Posiva can help the global nuclear industry through the expertise sold by its wholly owned subsidiary Posiva Solutions. It is also an excellent place for our staff to develop and maintain their skills, as the experience gained over 40 years can be harnessed to drive forward responsible disposal of spent nuclear fuel worldwide. We have a wealth of rock-solid competence that we can be proud of on a global scale.

## **Ilkka Poikolainen**

CEO

Posiva Oy

ilkka.poikolainen@posiva.fi

# Brysselin huippukokous oli ydinvoimamyönteisyyden huipentuma

Ydinvoiman kannatus on ennätysvahva Euroopassa, vastustajien ääni on vaiennut. Tästä ovat todisteena nykyisen Euroopan parlamentin ja komission tekemät lukuisat ydinvoimamyönteiset päätökset. Viimeisimpänä osoituksena muutoksesta oli Brysselissä maaliskuussa järjestetty kansainvälinen ydinenergiahuippukokous. Peräti 32 maan päämiehet liputtivat ydinvoiman puolesta.

**Teksti ja kuvat:** Juha Poikola

**Y KSI OSOITUS MUUTOKSESTA OLI** Euroopan parlamentin äänestys SMR-tekniikan edistämiseen tähtäävää oma-aloitemietinnöstä vuodenvaihteessa. Aloitteen puolesta äänesti 409 meppiä, ja vastustajia oli 173. Eli toisin sanoen: historiallisen suuri enemmistö, jopa 70% äänestäneistä kannatti ydinvoimaa.



**Juha Poikola**

Yhteiskuntasuhdepäällikkö  
Teollisuuden Voima Oyj  
juha.poikola@tvo.fi

## Poikkeuksellinen huippukokous

Brysselissä järjestetty huippukokous oli ensimmäinen yksinomaan ydinenergiaan keskittynyt kokous. Sen olivat kutsuneet koolle Belgian pääministeri Alexander De Croon sekä Kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n pääjohtaja Rafael Grossi. Kokousaamun ensimmäinen havainto oli piha-alueella metelöineet mielenosoittajat – tosin ajan hengen mukaisesti ydinvoiman puolesta.

Poikkeuksellinen tunnelma jatkui itse kokouksessa. Lavalle marssi vuorotellen kymmeniä maiden presidenttejä, pääministereitä sekä muita korkean tason edustajia korostaen

ydinvoiman merkitystä. Suomen pääministeri Petteri Orpo nosti esille ydinvoiman hyödyt ja sen, että tulevaisuudessa ydinvoimaa voidaan käyttää myös lämmön sekä vedyn tuottamiseen. Lisäksi Orpo nosti esille Suomen edelläkävijyyden loppusijoituksessa.

## Myös suomalaista edustusta paikalla

Itselleni kokouksen yksi kohokohtia oli saksalaisen komission puheenjohtaja Ursula von der Leyenin puheenvuoro. Hän on vahva ehdokas myös tulevan komission johtoon. Puheessaan hän huomautti, että ydinvoiman osuus Euroopan energiantuotannossa on itse asiassa laskussa ja että tärkein keino kielteisen kehityksen pysäyttämiseksi ovat uudet investoinnit.

Tämä edellyttää von der Leyenin mukaan ”tukea valtioilta”, jotta investointien rahoituksen saatavuus voidaan varmistaa ja jotta ”ydinvoiman kontribuutio energiaturvallisuuteen tulee asianmukaisesti kompensoiduksi”. Tämän lisäksi myös ydinvoiman käyttö sähkön-



tuotannon ohella muihin tarkoituksiin, kuten lämmitykseen tai vetytalouden hyväksi, on osa ratkaisua ydinvoiman tulevaisuuden varmistamiseksi ja hyväksyttävyyden vahvistamiseksi.

Von der Leyen korosti myös ydinvoimallisten käyttöön pidennysten tärkeyttä. Hän mainitsi sen olevan yksi halvimmista keinoista lisätä energiantuotantoa ja kehotti maita pohtimaan vaihtoehtojaan tarkasti, ennen kuin sulkevat käyttöön pidennyksen vaihtoehtojen ulkopuolelle.

Poliitikkojen lisäksi meille tutun mutta tärkeän viestin esitti kansainvälisen energijärjestön IEA:n johtaja Fatih Birol todeten, että

*Posivan kehitysjohtaja Tiina Jalonen kertoi käytetyn polttoaineen loppusijoitusprojektin tilanteesta.*

“Ilman ydinvoiman tukea meillä ei ole mahdollisuutta saavuttaa ilmastotavoitteitamme ajoissa”. Tästä on helppo olla samaa mieltä.

Suomi ja Olkiluoto saivat tilaisuudessa hienoa näkyvyyttä, kun TVO:n henkilöstö- ja viestintäjohtaja Jaana Isotalo sekä Posivan tutkimusjohtaja Tiina Jalonen astuivat lavalle. 🌐

#### Lisää aiheesta:

- [www.world-nuclear-news.org/Articles/Leaders-back-nuclear-at-summit](http://www.world-nuclear-news.org/Articles/Leaders-back-nuclear-at-summit)
- <https://valtioneuvosto.fi/-/10616/paaministeri-orpo-nosti-esiin-suomen-osaamistaydinenergiahuippukokouksessa>
- [www.iaea.org/newscenter/news/a-turning-point-first-ever-nuclear-energy-summit-concludes-in-brussels](http://www.iaea.org/newscenter/news/a-turning-point-first-ever-nuclear-energy-summit-concludes-in-brussels)
- [www.nti.org/wp-content/uploads/2024/03/NGO-Declaration-\\_03.18.24.pdf](http://www.nti.org/wp-content/uploads/2024/03/NGO-Declaration-_03.18.24.pdf)
- [www.nucleareurope.eu/press-release/statement-nuclear-summit/](http://www.nucleareurope.eu/press-release/statement-nuclear-summit/)





# Vuosikokous 2024 Tieteiden talolla

ATS:n vuosikokous järjestettiin hybridimuodossa tiistaina 19.3. Tieteiden talolla Helsingissä. Paikan päällä kokoukseen osallistui 31 ja etänä noin 30 henkilöä. Vuonna 2023 seuran toiminta oli aktiivista, tapahtumaosallistumisia oli noin 600. ATS:n vuoden päätapahtuma oli elokuinen ekskursion Olkiluotoon, minkä lisäksi järjestettiin kaksi yleistä jäsentilaisuutta, syyseminaari sekä vuosikokous. Seuran nettisivut uusittiin ja jäsenistön palvelut siirrettiin Yhdistysavaimelle. Toimintaryhmien päätapahtumat olivat ATS YG:n seminaariristeily Tukholmaan sekä vuosittainen Summer Symposium, ATS-Senioreiden kiertokäynti Aalto-yliopistossa ja VTT:llä, Ydinkonkari-tapahtuma ATS YG:n kanssa sekä syyslounas, ja Women in Nuclear Finlandin webinaari, after work -tilaisuudet kuin myös edustus Suomen näyttelyssä IAEA:n yleiskokouksessa Wienissä.



**Teksti:** Jenna Järvenpää

**A**TS:N VUOSIKOKOUKSEN puheenjohtajaksi valittiin perinteiseen tapaan seuran edellinen puheenjohtaja Tuomas Rantala. Hänen johdollaan käytiin läpi muun muassa vuoden 2023 toimintakertomus, tilinpäätös, tili- ja vastuuvapauden myöntäminen edelliselle johtokunnalle, uuden johtokunnan puheenjohtajan sekä jäsenten valitseminen, vuoden 2024 toimintasuunnitelma ja talousarvio sekä jäsenmaksujen vahvistaminen vuoden 2023 tasolle. Kokouksen loppuksi jaettiin Erkki Laurila -palkinto sekä kuunneltiin Pasi Tuohimaan esitys ydinenergia-alan viestinnän haasteista ja mahdollisuuksista.



**DI, FM Jenna Järvenpää**

Tutkija, ATS:n johtokunnan sihteeri  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
sihteeri@ats-fns.fi

## Uusi johtokunta

ATS:n johtokunnan kokoonpano muuttui vuosikokouksessa merkittävästi, kun toimikaudet päättyivät sekä puheenjohtajalta Markus Airilalta (VTT), sihteeriltä Jussi Peltoselta (VTT) että johtokunnan jäseneltä Olli Nevanderilta (Nuconeva). Seura haluaa kiittää Markusta, Jussia ja Ollia hienosta ja pitkäjänteisestä työstä seuran jäsenten ja toiminnan hyväksi!

Vuosikokous kiitti erityisen lämpimästi Olli Nevanderia poikkeuksellisen ansiokkaasta toiminnasta seuran hyväksi kolmen erillisen johto-

kunnan kolmivuotiskauden ja lukuisten muiden yli 30 vuoden aikana olevien vastuutehtävien kautta. Kiitos vielä kerran Olli! Vuosikokouksen puheenjohtaja Tuomas Rantala mainitsi vielä kiittäessään johtokunnan väistyviä jäseniä, että ”väistyminen on vain väliaikaista”.

ATS:n johtokunnan uudeksi puheenjohtajaksi valittiin Hanna Tynys (Fortum), joka toimi viime kauden varapuheenjohtajana. Johtokunnassa jatkavat uudeksi varapuheenjohtajaksi valittu Samuli Siltanen (Helsingin yliopisto, 2. kausi), Antti Snicker (VTT, 3. kausi) sekä rahastonhoitajaksi uudestaan valittu Elina Syrjälahti (TVO, 3. kausi).

Uusiksi jäseniksi valittiin Jenna Järvenpää (VTT), Taina Kurki-Suonio (Aalto-yliopisto), Topi Tupasela (STUK) sekä Janne Valkonen (Platom). Näistä Jenna Järvenpää valittiin seuran johtokunnan uudeksi sihteeriksi. Seuran toiminnantarkastajiksi valittiin Pekka Kupiainen ja Lauri Pyy ja heidän varalleen Tapani Rautio.

## Vuoden 2024 toimintasuunnitelma

ATS:n tarkoituksena on sääntöjensä mukaan edistää ydintekniikan alan tuntemusta Suomessa, toimia yhdysiteenä jäsentensä kesken





*Erkki Laurila -palkinnon luovutus Janne M. Korhoselle (kuva: Tuomas Rantala).*

kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi sekä vaihtaa tietoja ja kokemuksia kansainvälisellä tasolla.

Näiden tavoitteiden toteuttamiseksi seura järjestää jäsenistölleen jäsenkokouksia sekä kiinnostavia tapahtumia kuluvaan vuoden aikana. Painotus on kasvokkaisissa kohtaamisissa, mutta etäosallistumista harkitaan ainakin osaan tapahtumista pääkaupunkiseudun ulkopuolella olevien jäsenten palvelemiseksi. Tavoitteena on järjestää 3–4 jäsentilaisuutta ajankohtaisen teeman ympärille sekä perinteinen syysseminaari myöhemmin tiedotettavassa paikassa.

Johtokunta selvittää vuoden 2024 aikana mahdollisuutta järjestää koko ATS:n jäsenistölle suunnattu ulkomaan ekskursion vuonna 2025. Johtokunta myös valmistelemaan tulevan vuoden aikana ensi vuonna järjestettävää Suomen Ydintekniikan Päiviä (SYP).

Seura tukee jatkossakin aktiivisten toimintaryhmien ATS YG:n, Women in Nuclear Finlandin (WiNFin) sekä ATS-Senioreiden toimintaa ja julkaisee ATS Ydintekniikka -lehteä neljästi vuodessa. ATS jatkaa vaikuttamista kansainvälisellä tasolla muun muassa European Nuclear Society'n johtokunnan jä-

## Juurista nousee voima

**ATS:N JOHTOKUNTA UUDISTUI** lähes 60-vuotisen taipaleen perinteiden mukaan. Vuosikymmeniä ATS on yhdistänyt ydintekniikan toimijoita ja seuran juhluvuosi 2026 lähestyy. Vuonna 1966 seuran perustamisesta uutisoineen Helsingin Sanomien mukaan seuran tarkoituksena on tieteellisen yhteistoiminnan organisointi ydintekniikan alalla. Lehtiartikkeli painotti seuran merkitystä tiedonvaihdossa, koska Suomesta puuttui opetusta atomitekniikkaan liittyvillä alueilla.

Nyt vuosikymmeniä myöhemmin ja lähes vuosikymmenen hajaannuksen jälkeen ATS yhdistyi Säteilyturvakeskuksen osallistuessa taas aktiivisesti seuran toimintaan. Kaikki suomalaiset organisaatiot kattava seura ja sen työ tiedon vaihtamisessa on yhä tärkeää, valetiedon täyttämässä epävarmassa maailmassa.

Vuonna 1996 Säteilyturvakeskuksen pitkäaikainen pääjohtaja Antti Vuorinen kirjoitti ATS Ydintekniikassa, kuinka ATS:llä on ollut tärkeä rooli suomalaisen ydinturvallisuuskulttuurin kasvattamisessa. Hän muistutti myös avoimen yhteiskunnan päättäjäien vastuusta ja tarpeesta ymmärtää ydintekniikan perusasioita.

Harva tietää ATS:n merkitystä ydintekniikan opetuksen ja tutkimuksen säilymiselle, kun rahoitusta leikattiin vuosituhanen vaihteessa. Tuon aikaisen tiedonjaon merkitystä kuvaa myös erään Olkiluoto 3 -äänestykseen ydinvoimakantansa täysin vaihtaneen kansanedustajan lausahdus: ”Näissä teidän (ATS:n) tilaisuuksissanne on mukava käydä, kun saa paljon tietoa ja kukaan ei tyrkytä omaa kantaansa tai

painosta jollain tavalla.” Tietoa jaettiin reilusti ja Olkiluoto 3 -projekti sai lupansa. Sitten alalle tarvittiin jo paljon uutta väkeä ja ydintekniikan tutkimuksen ja opetuksen ”vaaran vuodet” olivat ohi.

Vuosituhanen alussa, Jorma Aurelan toimiessa kättilönä, ATS käynnisti myös nuorten Young Generation (YG) toiminnan. Se on ollut siitä asti hyvin aktiivista. ATS:n yhteydessä toimii myös Energiakanava, nyttemmin WiNFin, jossa energia-alalla ja säteilyn parissa työskentelevät naiset pyrkivät lisäämään erityisesti naisten tietämystä energiasta ja säteilystä.

Näiden alati uudistuvien toimintojen ansiosta ATS ei ole koskaan päässyt ”ukkoutumaan” kuten moni eurooppalainen sisarseuransa, vaikka ATS:llä on senioriosastonsa. Ydinvoimatekniikan alan pitkäjänteisyyden ja jatkuvuuden vuoksi yhtiöt, ydinlaitokset ja jopa osa kaikesta tekniikasta on yhä samaa kuin vuosikymmeniä sitten. Niinpä monen toimijan näkemykset ja tiedot vuosikymmenien takaa ovat yhä hyödyllisiä ydintekniikan alan tiedonvaihdossa.

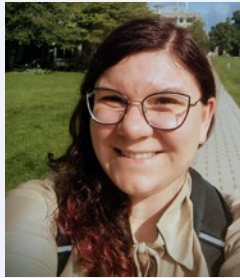
Nyt uudella johtokunnalla on selkeä latu edessään. Toisaalta uusia, urauurtavia suhteita voi edistää aktiivisella otteella. Ehkä seuran olisi aika solmia suomalaisia osaamista mainostavia tiedonvaihdon suhteita Japaniin, Etelä-Koreaan, Intiaan ja Etelä-Amerikan valtioihin.

**Olli Nevander**



## Jenna Järvenpää

Aloitin kemian opinnot Jyväskylän yliopistossa varusmiespalveluksen jälkeen vuonna 2011. Opintoja kertyi niin orgaanisesta kemiasta, biologiasta, fysiikasta, kasvatustieteistä kuin myös historiasta. Maisterivaiheessa sain vihiä Helsingin yliopiston mysteerisistä radiokemian opinnoista, joihin siirryin vuonna 2015. Opintojeni aikana tutustuin niin ATS YG:n, Suojelu, Pelastus ja Turvallisuus ry:n, Satakuntalaisen Osakunnan kuin myös STUKin säteilymittausjoukkueen toimintaan.



Ensimmäisen ydinvoima-alan kesätyöni sain TVO:lta vuosihuoltojen säteilysuojelusta vuonna 2015. Säteilysuojelussa olin töissä myös Loviisan voimalaitoksilla vuonna 2017. Vuonna 2019 olin STUKissa radiokemian laboratoriossa ja samalla Aallossa opiskelijana. Radiokemian maisteri ei selkeästi riittänyt, vaan halusin lakkiini tupsun.

Aalto-yliopistossa opiskelin Advanced Energy Solutions -maisteriohjelmassa teollisia energiaprosesseja, kiinaa ja itsensä johtamista. Diplomityöni tein Fennovoimalle radioaktiivisen laskeuman leviämistä ja annoslaskennasta vuosina 2021–2022. Vuonna 2023 siirryin VTT:lle NOMATEN EU-projektin projektinhallintaan ja samalla olen päässyt tekemään ydinmateriaalivalvontaa, viestintää ja tapahtumien järjestämistä, jota teen mielelläni myös vapaa-ajallani. Muihin harrastuksiin kuuluu verkostoituminen, yhdistystoiminta, virkkaaminen, salilla käynti ja matkustaminen.

## Taina Kurki-Suonio

Perusopintovaiheessa lähdin mielestäni vuodeksi Yhdysvaltoihin, mutta palasinkin yhdeksän vuotta myöhemmin. Noihin vuosiin mahtui yksi vuosi MIT:ssä fysiikan maisteriopinnoissa, mistä sitten vuonna 1984 siirryin onnistuneen naimakaupan myötä tekemään väitöskirjaopintoja Teksasin yliopistoon Austinissa. Väittelin siellä Institute for Fusion Studies -laitoksella aiheesta laser-plasma-kiihdyttimet, minkä jälkeen minun piti päättää, jatkanko plasmossa vai kiihdyttimissä.



Berkeleyyn yliopisto Kaliforniassa houkutteli enemmän kuin Chicagon Fermilab, joten vuonna 1989 aloitin siellä postdocina ydintekniikan laitoksella ja siirryin ratkomaan fuusioplasman ongelmia. Sille tielle olen jäänyt, enkä usko, että mikään muu ala olisi pystynyt inspiroimaan ja energisoimaan mieltäni yhtä paljon kuin fuusio- ja fissioenergian haasteet ja mahdollisuudet.

Niinpä palattuani Suomeen vuonna 1989 jämhähdin samantien TKK:n teknillisen fysiikan laitokselle. Yliopisto on välillä vaihtanut nimeä ja strategiaa, mutta minä en: energia-asioihin liittyvä opettaminen, valistaminen ja innostaminen vastalääkkeenä mielikuvamarkkinoinnille jaksaa sytyttää! Vapaa-aikani vietän mieluiten ulkona, seuranaani karjalankarhukoira ja pohjanpystykorva. Hevonenkin löytyy alta pari kertaa viikossa.

## Topi Tupasela

2010-luvun alussa löysin itseni Aalto-yliopistosta opiskelusta teknillisestä fysiikasta. Opiskeluaika oli valikoitunut lukiossa fysiikkaan heränneen kiinnostuksen perusteella sen kummempin opinto-ohjelmaan perehtymättä. Opintoaikana työskentelin muun muassa materiaalitekniikan parissa, mutta opintojen loppuvaiheessa kiinnostus alkoi kohdistumaan ydineergiatekniikkaan. TVO:lla ehdin työskennellä yhden kesän ajan, ja sen jälkeen olenkin ollut STUKin virassa.



STUKissa aloitin kesätyöntekijänä vuonna 2018. Kesätyöprojektiini liittyi silloin STUKissa kehitteillä olleeseen käytetyn ydinpolttoaineen verifointilaitteeseen. Kesän jälkeen PNAR-laitteen kehitys jatkui diplomityönä. Valmistuttuani jatkoin STUKissa tarkastajana ydinmateriaalivalvonnan eli kollegoiden kesken safe-guardsin parissa. Työtehtäviini on kuulunut tarkastusten lisäksi ydinpolttoaineen verifointimittauksia, loppusijoituksen valvontakonseptin kehittämistä, ydinkoekieltosopimukseen liittyvää valvontaa sekä mielenkiintoisia kansainvälisiä tehtäviä.

Vapaa-ajalla minut löytää todennäköisimmin kesäisin mökiltä puuhailemasta ja talvisin kuntosalilta tai lautapeliä ääreltä.

## Janne Valkonen

Valmistuin diplomi-insinööriksi Teknillisestä korkeakoulusta vuonna 2001 opiskeltuani automaatiota ja teollisuustuotantoa. ABB:lle tehdyn diplomityön jälkeen aloitin työt VTT:llä pannesprosessien simuloinnin parissa. Vähitellen työlliställe tuli myös ydinvoimaan liittyviä projekteja ja muutaman vuoden kuluttua lähes kaikki työni kohdistuivat ydinvoima-alan tutkimukseen ja asiakasprojekteihin niin suomalaisissa kuin kansainvälisissäkin hankkeissa. Myös tiimipäällikön tehtävät tulivat tutuksi vuosien mittaan.



Vuonna 2020 siirryin nykyisen työnantajani Platomin palvelukseen. Platom on riippumaton asiantuntijaorganisaatio ja sen projektit kohdistuvat ydinlaitosten kaikkiin elinkaarivaiheisiin. Asiakaskunta koostuu luvanhaltijoista, järjestelmä- ja laitetuottajista sekä toisinaan myös viranomaisista.

Olen sertifioitu projektipäällikkö (IPMA C) ja toimin tällä hetkellä vanhempana automaatioasiantuntijana sekä Platomin Engineering-tiimin päällikkönä. Tiimissä on monialainen joukko automaation, sähkötekniikan ja mekaniikan huippuasiantuntijoita, ja tiimin projektit vaihtelevat laajuudeltaan yksittäisten komponenttien kelpoistuksesta laajojen järjestelmien suunnitteluun ja toimitukseen.

Viime vuosina olen laajentanut osaamistani suorittamalla tuotekehitystyön erikoisammattitutkinnon sekä opiskelulla oikeustiedettä. Vapaa-ajalla pelailen erilaisia mailapelejä, mökkeilen ja seuraan innolla lasteni harrastuksia.



senenä ja kansallisella tasolla muun muassa Tieteellisten seurain valtuuskunnassa (TSV).

Yhdistyksen uusia nettisivuja päivitetään jatkuvasti ja sitä kautta voi sähköisesti hakea seuran jäsenyyttä päästäkseen mukaan niin seuran kuin sen toimintaryhmien toimintaan. Uusi johtokunta loi ATS:lle oman LinkedIn-profiilin ja sitä päivitetään myös jatkuvasti.

Toimintaryhmien suunnitelmissa on tälle vuodelle muun muassa saunailtoja, Summer Symposium, ENS CCM (European Nuclear Society Young Generation Network Core Committee Meeting) Olkiluodossa ja ulkomaan ekskursio (ATS YG), ydinalalla työskentelevien naisten uraverkoston luominen, verkostoitumistilaisuudet sekä alan naisasiantuntijoista koostuvan puhujapankin kokoaminen (WiNFin) ja vakiintuneiden lounastapaamisten sekä organisaatiovierailujen järjestäminen (ATS-Seniorit). ATS:n nettisivuilla voit itse käydä valitsemassa itsellesi toimintaryhmän (WiNFin tai ATS-Seniorit).

### Erkki Laurila -palkinnon jakaminen

Sääntömääräisten asioiden lisäksi kokouksessa jaettiin Erkki Laurila -palkinto Janne M. Korhoselle artikkelista ”Kuka murhasi ydinvoiman, ja miten?” (ATS Ydintekniikka 1/2023). Johtokunnan väistynyt puheenjohtaja Markus Airila ja sihteeri Jussi Peltonen ojensivat pal-

kinnon Jannelle kattavasta ja erinomaisesti tehdystä artikkelista.

Palkinnon perusteluina oli: ”Artikkelissa on perusteellinen selvitys ydinvoiman historiasta, joka antaa ymmärrystä nykytilaan ja tulevaisuuden näkyymiin tämänhetkessä murros-tilassa. Siihen on tehty laaja tieteellinen taustatyö ja tuloksena on kattava, erinomaisesti perusteltu kokonaisanalyysi. Kirjoitustyö on miellyttävän lukijaystävällinen, kieli sujuvaa ja kuvaajat havainnollisia.”

Janne M. Korhonen toimii Kalevi Sorsa -säätiössä oikeudenmukaisen ekologisen siirtymän asiantuntijana ja on perehtynyt aikaisemmassa työssään yhteiskunnan aineellisiin ja poliittisiin reunaehtoihin sekä energiajärjestelmiin. Hänen palkintoartikkelinsa voi lukea ilman kirjautumista ATS:n uusilta nettisivuilta. Janne M. Korhonen oli otettu tunnustuksesta ja kiitti lämpimästi palkinnosta.

Palkinnon jaon jälkeen tilaisuuden päätti Pasi Tuohimaan (TVO) esitys ydinenergia-alan viestinnän haasteista ja mahdollisuuksista. Esitys herätti paljon keskustelua viestinnän eri näkökulmista, Olkiluodosta ja sen liian pitkistä roottoreista, suomalaisen työn osuudesta ydinvoima-alan rakennustyömailla sekä Posivan loppusijoituskonseptin näkyvyydestä ulkomailla. Myös tämä esitys toteutettiin hybridinä etäosallistujille. 🌐



*Pasi Tuohimaa kertoi erilaisista viestintätapahtumista Olkiluodossa (kuva: Hanna Tynys).*



*Uusi johtokunta vasemmalta lähtien: Topi Tupasela, Antti Snicker, Hanna Tynys, Elina Syrjälahti, Janne Valkonen ja Jenna Järvenpää. Kuvasta puuttuvat Samuli Siltanen ja Taina Kurki-Suonio (kuva: Jenna Järvenpää).*

# Mistä on valmiusharjoitus tehty?

Osa teistä lukijoista on saattanut osallistua valmiusharjoitukseen tai ainakin kuullut sellaisesta, joita ydinvoimalaitosten valmiustoiminnan tiimoilta säännöllisesti järjestetään. Miksi valmiustoimintaa tulee harjoitella, miten harjoituksia suunnitellaan, mistä harjoitusskenaario muodostuu ja miten harjoitusta ennakoidaan ovatkin jo sitten kysymyksiä, joista monellakaan ei varmastikaan ole käsitystä. Ei hätää – haluamme avata teille asiaa ja valottaa harjoittelun taustoja ja vähän salojakin.

**Teksti:** Anni Lähdeoja ja Tuuli Remes

**V**ALMIUSTILANTEIDEN HARJOITUSTEN tärkeyttä ei voi liiaksi korostaa, jotta voidaan varmistaa valmiusorganisaation toimintakyky myös todellisessa poikkeus- ja onnettomuustilanteessa. Tilannekuvan jakaminen niin sisäisesti kuin viranomaistoimijoiden välillä tulee olla sujuvaa, oikea-aikaista ja luotettavaa, jotta jokaisella on käytettävissään viimeisin tieto tilanteesta.

Tämä organisaatorajat ylittävä toiminta voidaan saada sujuvaksi vain harjoittelemalla ja harjoituksista saadusta palautteesta oppimalla. Valmiustoiminta ydinvoimalaitoksilla

mukailee STUKin YVL-säännöstöä, jossa määritellään muun muassa vaatimus vuosittaisille valmiusharjoituksille.

Lisäksi ydinlaitosten harjoittelua ohjaavat erilaiset tavoitteet ja harjoiteltavat teemat, joita ovat muun muassa sähkönmenetys, lopullisen lämpönielun menetys ja putkirikko. Olkiluodossa meillä on käytössä laaja harjoitusmatriisi, josta saamme vuosittain teemat eli suunnittelua ohjaavat linjat harjoitusskenaariion luomiseksi. Teemat toistuvat säännöllisesti ja uusia teemoja lisätään tarpeen mukaan. Myös muilta laitoksilta saatujen kokemusten

pohjalta sekä alan parhaisiin käytänteisiin peilaten asetetaan uusia tavoitteita.

## Ennakointi ja aloitus

Ison valtakunnallisen tai vuosittaisenkin niin sanotun pääharjoituksen suunnittelu aloitetaan jo melkein vuotta ennen varsinaista harjoituspäivää. Vuoden 2024 valmiusharjoitus OLKI24-harjoituksen suunnittelu on jo hyvässä vauhdissa, vaikka harjoituspäivä on vasta lokakuussa. Tuolloin koeponnistetaan Olkiluodon valmiusorganisaation paineensietokykyä ja osaamista yhdistetyssä onnettomuus- ja uhkatilanteessa.

Harjoitussuunnittelun alkaessa ensin löydään lukkoon teemat ja suunnitteluun osaanmistaan jakava porukka. Myös simulaattorit näyttävät merkittävää osaa suunnittelun aloituksessa, sillä harjoitusajankohta on usein riippuvainen simulaattorin käytettävyydestä. Kun ynnää yhteen kolmen ydinlaitoksen vuosihuollot, simulaattoreiden huollot ja päivitykset sekä varsinaiset simulaattorikoulutukset ei vuoteen jää montakaan rakoa valmiusharjoitukselle. Hyvää aikaa ei tunnu löytyvän koskaan, mutta toisaalta kysyykö mahdollinen häiriötilannekaan meiltä, milloin olisi hyvä hetki tulla häiriköimään.

Skenaariosuunnittelu, häiriötilanteen luominen vaatii työryhmältä mielikuvitusta sekä laitoksen tekniikan syvää tuntemusta myös onnettomuustilanteissa: turvallisuusjärjestelmät ja TTKE-ehdot on oltava hanskassa. Onneksi porukassa on voimaa ja osaamista jaetaan suunnitteluporukassa avoimesti, mikä mahdollistaa laaja-alaisen oppimisen eri laitoksiköiden toiminnasta.

Varsin usein tarvitaan tekniikan lisäksi myös ymmärrystä säteilystä, sen käyttäytymisestä ja ennusteiden laskentaa laitoksen sisällä ja ulkona, missä säteilyturvallisuuden asiantuntijoilla on myös iso rooli suunnittelun kannalta. Teknisen osaamisen lisäksi tarvitaan organisoitukykyä nivoa kokonaisuus yhteen ja toisinaan kykyä keksiä yksinkertaisia (ainakin suunnittelijoiden mielestä hauskoja) yksityiskohtia saadakseen jokaiselle roolille mielekästä toimintaa juuri kyseiseen harjoitukseen.

Esimerkkinä vuoden 2022 harjoitusskenaariossa yksi laitoksen varadieseleistä oli vikaantunut. Vian etsinnässä näyttöryhmälle annettiin tehtäväksi analysoida ennakoon paikalle viety näyte. Näyte oli dieselin sijaan bensaa, mikä tietysti selitti dieselkäyttöisen laitteen vikaantumisen.

Kun kokonaisuus alkaa olla kasassa hiotaan erilaiset skenaariopolut uomiinsa, sillä usein halutaan antaa organisaatiolle myös vaihtoehtoisia polkuja, eikä sulkea pois kaikkia luovia ratkaisuja, joilla vältettäisiin laitoksen onnet-



**Ins. Anni Lähdeoja**

Vanhempi yritysturvallisuusasiantuntija  
Teollisuuden Voima Oyj  
anni.lahdeoja@tvo.fi



**HTK Tuuli Remes**

Yritysturvallisuusasiantuntija  
Teollisuuden Voima Oyj  
tuuli.remes@tvo.fi





*Yhteiset kokemukset yhdistävät ja hitsaavat porukkaa yhteen, mikä helpottaa toimintaa mahdollisessa todellisessa poikkeustilanteessa (kuva: Tapani Karjanlahti).*

tomuuden eteneminen. Ratkaisuja muuten löytyy usein yllättävänkin paljon! Ei voi kuin ihmetellä sitä luovuutta, mikä insinöörivoitosta porukasta harjoitustilanteissakin löytyy. Huikeita oivalluksia ja vallattomia ideoita!

### **Pienempi oma harjoitus vai osa isoa kokonaisuutta**

Varsin usein, kun harjoitusta aletaan rakentamaan, tuppaa mopo lähtemään käsistä ja mielikuvitus saa ylivallan. Harjoitusteemojen sisälle saa rakennettua ties millaisia suunnitelmia ja mielenkiintoisia testauksen paikkoja. Tarkoituksena on kuitenkin saada kokemusta muun muassa aikaviiveistä, suojavarusteissa toimimisesta sekä kommunikoinnista eri toimijoiden välillä.

Aika-ajoin joudutaankin tekemään pohdintaa myös siitä, mitä kaikkea on järkevää ja mielekäästä yhdistää yhteen harjoitukseen. Onko järkevämpää harjoitella pienemmissä osissa, jolloin voidaan paremmin fokuoittaa tiettyihin asioihin ilman ison harjoituksen tuomaa painetta ja pakkoa saattaa tietyt elementit maaliin tietyllä tavalla?

Ei ole kerta eikä kaksikaan, kun olemme suunnitteluporukassa suunnitelleet esimerkiksi kentällä tapahtuvia aktiviteetteja ja hioneet nämä yksityiskohdat mielestämme viimeisen päälle todetaksemme harjoituspäivänä tilanteen etenevän siten, ettei suunnitellut aktiviteetit tule toteutumaan joko aikataulun pettäessä tai skenaarion eläessä eri suuntaan. Onneksi joku viisas on todennut, että hyvin

suunniteltu on puoliksi tehty ja näin meillä on käsissämme valmis suunnitelma pienemmäksi harjoitteeksi, joka voidaan toteuttaa sitten varsinaisen harjoituksen jälkeen pienemmällä porukalla.

Pienemmistä harjoituksista saadaan valtavasti tukea isompien harjoitusten suunnitteluun. Esimerkiksi kemian onnettomuustilanteen näytteenottoa harjoiteltiin viime syksynä useaan otteeseen Olkiluodossa. Näin koko laboratoriomme väki sai saman opin ja niin sanottua käyttökokemusta, jota harjoitteista aina syntyy.

Opiksi muodostuivat muun muassa suojavarusteiden pukemiseen kuluva aika sekä toiminnan fyysinen kuormittavuus suojavarusteissa toimiessa. Kokonaamari kasvoilla ei aivan tarkasti enää kuulekaan työparin kommentteja tai pyyntöjä. On keksittävä uusia tapoja kommunikoida, jotta näyte saadaan otettua ajallaan ja oikein. Näin saa-

*Tehtävän suorittaja löysi tarkastusreissullaan karkkilaatikon piristämään yön valvottavia tunteja (kuva: Anni Lähdeoja).*

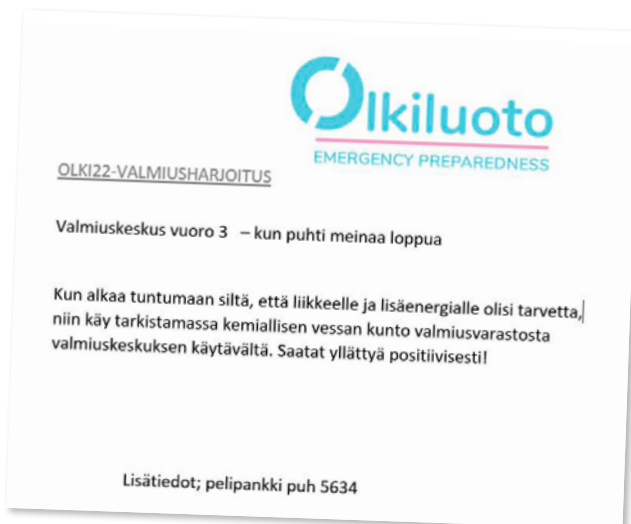
daan joudutettua tilanteen etenemän tulkittaa mahdollisessa valmiustilanteessa.

### **Viime hetken säätö ennen H-hetkeä**

Päivät ennen varsinaista harjoitusta ovat kaoottisia, mutta samalla niin antoisia ja palkitsevia, kun kuukausien työ alkaa konkretisoitumaan. Pitkiä työpäiviä vietetään vieden harjoitusohjeita toimintapaikoille esimerkiksi kirjeiden muodossa, varmistetaan ruokatilatukset pitkäkestoisin harjoituksiin, lasketaan käytettävien suojavarusteiden riittävyttä ja laputetaan kentälle tapahtumapaikkojen kuvauksia ja ratkaisuja. Toisaalta tässä kohden myös konkretisoituu kaikki se, mitä ei ole osattu ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa – onneksi on viime hetki ja mahdollisuus vielä säätää.

Vaikeinta harjoituksen toteutuksessa on kyetä ajattelemaan kaikkia mahdollisia tapahtumia ja seurauksia varsinaisten harjoittelijoiden näkökulmasta. Aina jokin osa-alue jää vähemmälle huomiolle ja harjoituksen aikana tuntee tuskaa puuttuvien palasten vuoksi. Onneksi ensi kerralla sitten on mahdollisuus panostaa toiseen osa-alueeseen taas enemmän ja jättää toista vähemmälle huomiolle.

Viime hetken säätämisessä meidän suunnittelijoiden pussiin pelaa myös se, etteivät harjoitukseen osallistuvat tahot tiedä suunnitelmia etukäteen ja mikä on ollut minkäkin tapahtuman perimmäinen tarkoitus. Välillä harjoitustilanne elää lennossa vähän vahingossakin uuteen suuntaan organisaation keksiessä jotain sellaista mihin emme ole osanneet varautua. Jos jokin osuus jää viime hetken kiireen vuoksi kokonaan pois harjoituksesta, se näkyy vain suunnittelijoille, jotka pelipankista seuraavat harjoituksen kulua ja vastailevat organisaation kysymyksiin.





*Pienemmässä harjoituksessa saatiin kokemusta siitä, miten sähkön menetystilanteessa tietokoneet toimivat akkuvarmennettuina, mutta valot eivät (kuva: Anni Lähdeoja).*

### Harjoitusyhteistyö

Olemme pyrkineet osallistamaan harjoitusten suunnitteluun laajalla skaalalla eri valmiusroolien edustajia, jotta saamme mahdollisimman monipuolisia näkemyksiä harjoitusten suunnitteluun ja toteutukseen. Harjoituksen järjestämisestä vastuussa oleva taho ei yleensä omaa kaikkea sitä osaamista ja ajattelukykyä, jota valmiusrooleilla toimivilla ammattilaisilla osaamisalastaan on. Yhteistyö valmiusharjoitusten kokoamisessa on siis kaiken A ja O.

Yhteistyötä valmiusharjoitusten osalta saadaan säännöllisesti tehdä myös yli organisaatioarajojen eri viranomaisten kanssa. Niin STUKin, paikallisen pelastuslaitoksen kuin poliisinkin edustajat ja heidän toimintatapansa ovat tulleet matkan varrella tutuiksi.

Harjoitusaiheita pohditaan myös yhdessä viranomaistoimijoiden kanssa ja mielenkiintoinen yhteistuumin syntynyt harjoituskokonaisuus oli DEKO22-valmiusharjoitus Olkiluodon alueella. Harjoituksessa pureuduttiin päästötilanteen tulo- ja lähtörutiineihin Olkiluodon alueella, eli miten alueelle tultaisiin mahdollisessa päästötilanteessa, ja toisaalta miten vuoron jälkeen lähdetäisiin kotia kohti suojavarusteissa.

Oli hienoa huomata, että yhteistyössä saatiin koeponnistettua monen monta asiaa, kuten yhteisomisteisen suojavarustekontin siirto Itä-Uudeltamaalta länsirannikolle sekä kontaminoituneen potilaan puhdistaminen ja jatkohoitoon kuljettaminen Satasairaalaan. Näistä harjoituksista kertyy oppeja, joita ei työpöydän ääressä suunnitellussa tule ajatelleksikaan.

Yhteistyötä tehdään myös säännöllisesti Loviisan ydinvoimalaitoksen valmiustoimin-

nasta vastuullisten kanssa tietoa jakamalla sekä puolin ja toisin muun muassa harjoituksia seuraamalla.

### Pieni pala pitkäkestoista valmiusharjoitusta

Useimmiten valmiusharjoitus kestää päivän, muutamasta tunnista täyden työpäivän mittaan. Tämä antaa ehkä vähän väärän kuvan, sillä todellinen vakava onnettomuustilanne tuskin olisi ohitse, kun kello lyö 16. Tästä syystä valmiustöinnassa varaudutaan myös pitkäkestoiseen tilanteeseen niin resurssien kuin myös ruuan ja lepotilojen osalta. Mielenkiinnolla lähdimmekin haastamaan itseämme ja organisaatiotamme muutama vuosi sitten suunnittelemaan pitkän, reilun vuorokauden mittaisen valmiusharjoituksen.

Alun hämmennyksen jälkeen myös nohevat valmiusorganisaatiolaiset tarttuivat innoissaan haasteeseen ja yövuoroja jaettiin normaalisti päivätyötä tekevien kesken ilolla. Pitkäkestoisessa häiriötilanteessa aika-aiheet ovat pitkiä ja odottelua olisi varmasti luvassa enemmän kuin lyhyissä tilanteissa. Eikä pitkäkestoinen harjoitus tehnyt tähän poikkeusta.

Halusimme piristää yön pitkiä ja väsyneitä tunteja erilaisin keinoin ja sen vuoksi päädyimme ekstrakirjekuoriin, joilla saimme aktivoitua valmiusrooleilla toimivia henkilöitä. Kuoret olivat mielenkiintoinen lisä totuttujen teknisten lisätietokuorien ja muun haastavan teknisen laitostilanteen tulkinnan rinnalle ja aiheuttivat hilpeyttä harjoituksen osallistujien keskuudessa.


Resurssointi on valmiusorganisaation rooleilla hoidettu hyvin ja yhdellä roolilla toimiikin useita toistensa kanssa vertaisia henkilöitä juuri siitä syystä, että olisimme toimintakykyisiä myös valmiustilanteen pitkittyessä. Myös harjoituksen suunnitteluporukan tulee olla laajempi pitkässä valmiusharjoituksessa, jotta kyetään tarkkailemaan ja tarvittaessa puuttumaan tilanteen etenemään harjoituksen joka käänteessä. Ennalta oli vaikea hahmottaa esimerkiksi sitä, miten suunnitteluporukan ja harjoituksen arvioitsijoiden panosta kaivattiin myös ilta- ja yöaikaan.

### Loppu hyvin kaikki hyvin

Kun viimeinenkin harjoituskuulutus on tehty ja viimeinen palautteellinen loppukokous on pidetty, henkilöstölle on viestitty harjoituksen olevan päättynyt, voi myös suunnitteluporukka huokaista helpotuksesta. Jäljellä on vielä harjoitusraportin kirjoittaminen sekä kehityskohteiden tunnistaminen, mutta varsinainen koitos on ohi. Kiire ja aikapaine ovat takana, mutta kehityskohteiden tunnistamisesta valmiusjärjestelyistä vastuullisten työ oikeastaan vasta alkaa, jotta saadaan kehityskohteet jalkautettua seuraavaan harjoitukseen mennessä.

Usein harjoituksen jälkeen olo on melko onntto ja tyhjä. Työpöydällä ei enää ole muistilappuja siitä, mitä kaikkea pitäisi vielä tehdä ennen H-hetkeä, kukaan ei kysele mihin aikaan harjoitus alkoikaan ja missä piti olla ja mistä koneen salasanat löytyvät. Väliillä et itsekään tiedä olisitko halunnut harjoituksen jo päättyvän vai suunnittelun vielä jatkuvan. Intensiivinen työrupeama on ohitse ja on aika hengähtää ennen seuraavaa koitosta, joka onkin usein jo aivan nurkan takana.

Kiitokset ja palautekeskustelut organisaation sekä yhteistyötahojen kanssa ovat hedelmällistä aikaa, sillä omat silmät eivät harjoituspäivänä kerkeä näkemään ja kuulemaan kaikkea. Sen vuoksi harjoituksiin valjastetaan useita tarkkailijoita, jotka tuntevat skenaarion ja sen odotetut polut. Tarkkailijat voivat tehdä havaintoja ja joissain kohdissa myös ohjata tilannetta oikeaan suuntaan.

Valmiustoiminnan parissa työskennelleenä juuri valmiusharjoitukset ja ihmisten ammatitaitoinen asenne ovat se suola, joka jaksaa innostaa harjoituksesta toiseen ja auttaa myös jaksamaan läpi sen vähemmän innostavan raportointirupeaman. Valmiusharjoituksista huokuva yhteisöllisyys ja organisaation saumaton yhteistyö ovat asioita, joita on ilo seurata ja joissa on ilo olla mukana. Valmiustoimintaan osallistuva henkilö on työyhteisössään arvostettu, rautainen ammattilainen ja voi olla ylpeä valmiusroolille valikoitumisestaan. 

# Towards new materials resistant to temperature and radiation – collaboration between nuclear centres in Poland and Finland

An important aim of the NOMATEN Centre of Excellence (CoE) at NCBJ in Poland, with collaboration between VTT in Finland and CEA in France, is to perform cutting-edge research on a new generation of structural steels and alloys resistant to radiation, temperature, and corrosion. They can be employed in the next generation of nuclear power plants.

**Text:** Lukasz Kurpaska, Iwona Jozwik, Wade Karlsen **Figures:** NCBJ

**T**HE NOMATEN CENTRE OF EXCELLENCE<sup>1</sup> boasts a distinctive array of fundamental and applied research and measurement facilities, including nuclear infrastructure, fostering scientific endeavours across

five specialized research groups devoted to numerical modelling, experimental verifications, and radio-pharmaceutical testing. The vision and concept of NOMATEN were elucidated in the previous article published in ATS

Ydintekniikka 1/2024<sup>2</sup>, outlining its mission to pioneer scientific breakthroughs and address industrial demands through collaborative research efforts.

From the experimental point of view, the Functional Property group and the Materials Characterization group are devoted to the assessment of radiation damage resistance via complex mechanical and structural properties analysis. In collaboration with VTT's Centre for Nuclear Safety researchers, new generations of steels and high entropy alloys are being developed, and the impact of radiation damage on the mechanical properties of these materials is being studied.

The Functional Properties group specializes in measuring mechanical properties across multiple scales. Through the implementation of specialized methods such as ion bombardment and nanoindentation, the group simulates neutron irradiation and studies its impact on mechanical behaviour on a local scale<sup>3</sup>.

Meanwhile, the Materials Characterization group employs cutting-edge scanning and transmission electron microscopy for atomic-level analyses, with a focus on understanding the response of these materials to high temperatures, oxidizing environments, and radiation<sup>4</sup>. This strategic approach underscores NOMATEN's commitment to advancing materials science and engineering, positioning it to serve as a leading hub for innovation and interdisciplinary collaboration in the field.

This article highlights four materials research examples featuring Polish and Finnish collaboration: (i) new types of radiation-resistant High Entropy Alloys enriched with nano-particles, (ii) failure analysis of high-hardness, high-toughness steels, (iii) corrosion studies of new generation zirconium-based alloys resistant to the simultaneous impact of radiation damage, water vapor, pressure and



**D.Sc., Ph.D. Łukasz Kurpaska**

Head of the Functional Properties Group at the NOMATEN Centre of Excellence  
Head of the Material Research Laboratory  
National Centre for Nuclear Research  
lukasz.kurpaska@ncbj.gov.pl



**D.Sc., Ph.D. Iwona Jozwik**

Research Group Leader  
Materials Characterization Group at the  
NOMATEN Centre of Excellence  
National Centre for Nuclear Research  
iwona.jozwik@ncbj.gov.pl



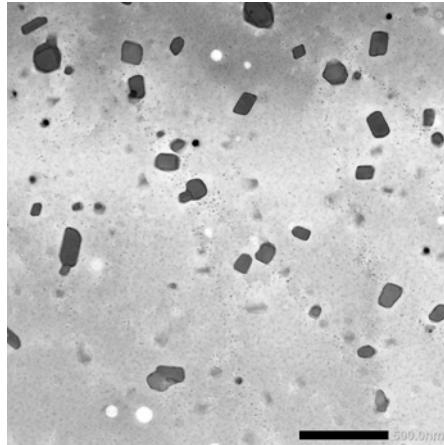
**Dr. Wade Karlsen**

Principal Scientist/Acting Technology Manager  
Centre for Nuclear Safety  
radiological laboratory  
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd  
wade.karlsen@vtt.fi



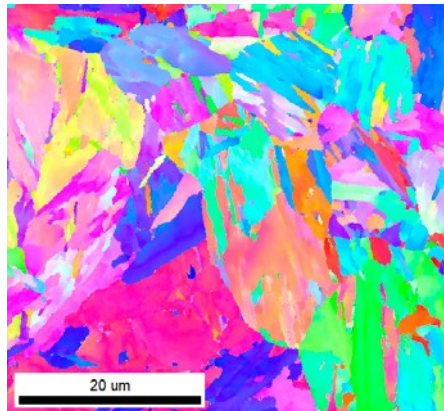


The members of the collaborating teams (from left to right): Pedro Ferreiros (VTT), Damian Kalita (NOMATEN), Yanling Ge (VTT) and Witold Chrominski (NOMATEN).



Scanning transmission electron microscope (STEM) image of precipitates formed during the in-situ TEM heating experiment in stainless steel.

concept cars that will be built from lighter materials, the developed protocols and expertise gained are relevant to carrying out failure analysis of other industrial components in the future.



EBSD (electron backscatter diffraction) image of pure iron model material used to understand how irradiation defects in bcc-type materials interact with each other upon deformation, and the impact of crystal orientation.

**Corrosion studies of new generation nuclear fuel cladding materials**

Zirconium alloys have a low thermal neutron absorption cross-section, and this positions them as the base material in fuel channels and fuel assemblies of all conventional nuclear reactors that generate power from the fission of uranium fuel. Since the initial development stage of these alloys, corrosion resistance is known to increase when equilibrium particles of  $\beta$ -Nb phase (very rich in niobium) are present instead of the metastable  $\beta$ -Zr phase (19 wt.% Nb)<sup>5</sup>.

However, this phenomenon has never been fully explained and, despite prolonged usage of zirconium alloys in the nuclear industry,

high temperature and finally (iv) high-temperature, in situ microstructural examinations of stainless steel components manufactured through additive processes. On a strategic level, VTT and NOMATEN are also working together to develop unique competencies and expertise for carrying out neutron irradiations, and for studying neutron-irradiated materials, leveraging the MARIA research reactor of NCBJ and the modern hot cells at the VTT Centre for Nuclear Safety.

**Radiation-resistant High Entropy Alloys enriched with nanoparticles**

In this study, a new concept of alloy development was investigated that combines strengths originating from concentration solid solution alloys (CSAs), high-density grain boundaries, and nano oxide dispersion strengthening.

The study demonstrated that even after irradiation up to 120 dpa (i.e., a lifetime of

operational exposure of a reactor internals component; dpa = displacements per atom) at elevated temperatures (580 and 700 °C), no significant hardening effect was observed, which is possible due to the annihilation (consumption) of the point defects by grain boundaries and nano precipitates. This is one of the few studies in this category of radiation damage at high temperatures.

**Failure analysis of commercial high-hardness, high-toughness steels**

Together with VTT experts in failure analysis, a study was carried out on the high-hardness, high toughness steels X153CrMoV12 and X165CrV12. The microstructural uniformity and integrity as well as chemical complexity and sites where initiation of the cracking occurred were examined.

While this particular task was related to research around improving the safety of new

industry, remains unanswered. Therefore, this work aims to understand the true impact of the Nb on the water corrosion resistance of Zr-based alloys, including which phases are being created, what their radiation damage resistance is, and how increasing Nb addition to the system impacts the mechanical characteristics of the alloy.

**In situ, high temperature micro-structural observation of steels produced by additive manufacturing**

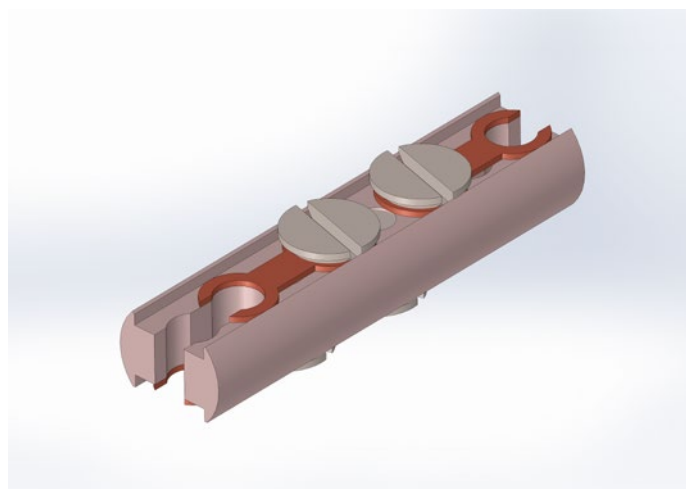
Recent efforts have leveraged the capabilities of the newly-acquired Transmission Electron Microscope (TEM) at NOMATEN (model JEOL JEM-F200), augmented with an advanced in-situ heating holder. These efforts have been directed towards probing the high-temperature evolution of different materials. In collaboration with VTT, stainless steel fabricated via additive manufacturing has been examined,



delineating the underlying mechanisms governing the nucleation and subsequent growth of precipitates within the material matrix.

The employment of this cutting-edge instrumentation has facilitated a comprehensive exploration of the dynamics of dislocation structures within these materials. These investigations mark a significant stride forward in elucidating the intricate interplay of microstructural evolution and its impact on high-temperature mechanical behaviour. Such insights serve to describe the temperature thresholds at which these phenomena manifest, thereby offering critical guidance on the material's operational limits.

*Developed concept of the container for TEM sample irradiation in the neutron flux*



### Maria reactor and VTT hot cells

Finally, since NCBJ owns and operates the MARIA research reactor, and VTT's Centre for Nuclear Safety features modern hot cells devoted to active material testing, the combination of the two enables joint research on the effects of neutron irradiation on materials. As a starting point, a unique concept is being developed for the irradiation of TEM lamella specimens in the MARIA reactor, for subsequent TEM examinations. From there, the intention is to expand to larger specimens that can allow for mechanical testing as well.


The container is currently in the pre-design phase, and the first neutron irradiation of materials in the neutron reactor core is scheduled for later this year. This will make NCBJ and VTT well positioned for materials' development for the nuclear industry, as neutron irradiation sources and materials testing hot cells are becoming scarcer worldwide as legacy facilities are decommissioned.

The importance of advanced microstructural and mechanical characterization techniques in elucidating the intricate behaviour

of materials, particularly in high-temperature environments, is highlighted by the collaborative efforts of NOMATEN. As illustrated in the examples, within the NOMATEN CoE, joint research by NCBJ and VTT can be dynamic and complex, with a focus on improving the understanding of material behaviour under extreme conditions commonly encountered in the nuclear, energy, and chemicals industries.

The main objective is to thoroughly characterize and develop materials such as steels, alloys, and coatings that are engineered to withstand the severe challenges posed by high temperatures, corrosive environments, friction, and other intrinsic factors found in such applications. The research conducted by both partners is carefully planned to acquire an in-depth understanding of the complex physical processes occurring within microstructures, while functioning in industrial environments, allowing for the design and construction of a new generation of materials.

These studies use a wide range of cutting-edge experimental techniques, such as Transmission Electron Microscopy (TEM), Scanning Electron Microscopy (SEM), Focused Ion Beam (FIB) techniques, Electron Backscatter Diffraction (EBSD), Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS), X-ray Diffraction, nanoindentation, thermogravimetry, tensile tests, and others. Furthermore, some of the instruments allow in-situ testing at high temperatures to investigate structural changes, interface phenomena, and chemical transformations that occur during material use.

The gain of knowledge not only enhances underlying comprehension, but also carries important implications for the improvement of performance and longevity of steel and alloy components produced via various methodologies. As partners within the NOMATEN CoE, VTT and NCBJ have every intention to continue along this trajectory in the future. 

### References

- 1 <https://nomaten.ncbj.gov.pl/>
- 2 ATS Ydintekniikka, 1 vol. 53 (2024) p. 9
- 3 L. Kurpaska, F.J. Dominguez-Gutierrez, Y. Zhang, K. Mulewska, H. Bei, W.J. Weber, A. Kosińska, W. Chrominski, I. Jozwik, R. Alvarez-Donado, S. Papanikolaou, J. Jagielski, M. Alava, Effects of Fe atoms on hardening of a nickel matrix: Nanoindentation experiments and atom-scale numerical modeling, *Materials and Design* 217 (2022) 110639
- 4 D. Kalita, I. Józwik, L. Kurpaska, Y. Zhang, K. Mulewska, W. Chrominski, J. O'Connell, Y. Ge, W.L. Boldman, P.D. Rack, Y. Wang, W.J. Weber, J. Jagielski, The microstructure, mechanical properties and He+ ion irradiation behavior of novel low-activation W-Ta-Cr-V refractory high entropy alloy for nuclear applications, *Nuclear Materials and Energy* 37 (2023) 101513
- 5 P.A. Ferreirós, P.R. Alonso, D.P. Quirós, E. Zelaya, G.H. Rubiolo, Accurate quantitative EDS-TEM analysis of precipitates and matrix in equilibrium ( $\alpha+\beta$ ) Zr-1Nb alloys with Ta addition, *Journal of Alloys and Compounds* 847 (2020) 156372

# Fuusioyhtiöitä Pohjois-Amerikan luoteisosassa

Tomas Lindén  
Fysiikan tutkimuslaitos

Osallistuin Victoriassa, Kanadassa HEPiX-työpajakokoukseen lokakuussa 2023 ja paluumatkalla vierailin Zap Energyn ja General Fusionin tiloissa. Osallistuin myös Canadian Nuclear Society:n järjestämään virtuaaliseen CWFEST 2023 -fuusiotyöpajaan, missä useat yksityisrahoitteiset fuusioyhtiöt esittelivät toimintaansa ja tuloksiaan. Seuraavassa kerron vierailuista fuusioyrityksissä ja CWFEST 2023:iin osallistuneista Pohjois-Amerikan luoteisosassa toimivista fuusioyhtiöistä.

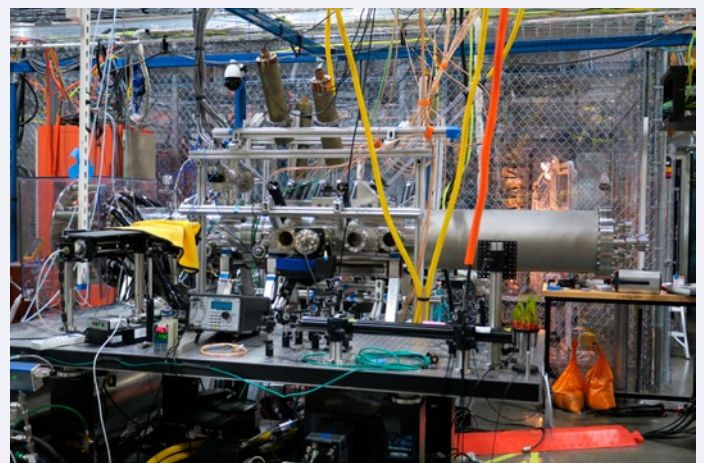
I participated in the HEPiX workshop in Victoria, Canada in October 2023 and on the return trip I visited Zap Energy's and General Fusion's facilities. I participated also in the CWFEST 2023 virtual workshop on fusion organized by the Canadian Nuclear Society, where several privately funded fusion companies presented their activities and results. In the following, I will discuss the visits to the fusion companies and the CWFEST 2023 participants from the North West part of North America.

Osallistuin kokeellisen hiukkasfysiikan tietojenkäsittelyyn keskittyvään HEPiX-työpajaan Victoriassa, Kanadassa 16.-20. lokakuuta 2023. Victoria on Brittiläisen Kolumbian pääkaupunki ja se sijaitsee 456 km pitkällä Vancouverin saarella. HEPiX-kokous pidettiin Victorian yliopiston kampuksella keskustan ulkopuolella. Pidin siellä esitelmän uudesta Fysiikan tutkimuslaitoksen ALICE- ja CMS-kokeiden 6760 teratavun kokoisesta levyjärjestelmästä, jolla tallennamme LHC-kiihdyttimen hiukkastörmäysdataa.

Maailmassa on muutamia alueita, joilla toimii useampi fuusioyhtiö ja/tai -tutkimuslaitos. Pohjois-Amerikan luoteisosassa on tällainen alue, sillä Seattlen lähistöllä USA:n Washingtonin osavaltiossa toimivat fuusioyhtiöt Avalanche Fusion, Helion Energy, Kyoto Fusionering ja Zap Energy, minkä lisäksi Washingtonin yliopistossa tutkitaan plasmafysiikkaa. General Fusion toimii Kanadan puolella Brittiläisen Kolumbian Richmondissa, Vancouverin lentokentän vieressä.

Varasin ylimääräisiä päiviä HEPiX-paluumatkaa varten, jotta voisin käydä vierailulla muutamassa fuusioyhtiössä. HEPiX-kokouksen jälkeen lauantaina 21. lokakuuta matkustin kaksirunkoisella laivalla Victoriasta Seattlen USA:ssa. Itse laivamatkaan meni vajaa kolme tuntia, mutta passin- ja turvatarkastukset olivat samaa luokkaa kuin lentäessä. Jatkoin matkaa samana iltana bussilla Seattlen keskustasta pohjoiseen hotelliin, jossa yövyin. Sunnuntaina jatkoin kolmella eri bussilla pidemmälle pohjoiseen Mukilteon lähellä Everettiä, jonne on Seattlen keskustasta vajaa 40 km linnuntietä.

Ehdin käydä sunnuntaina Boeingin lentokonetehaan Future of Flight -näyttelyssä, jossa oli esillä Boeing 747:n historiaa, naislentäjiä ja avaruustoimintaan liittyviä laitteita. Näyttelytilan kattoterassilta pystyi katsomaan Boeingin valtavia kokoonpanohalleja, joista yksi on tilavuudeltaan maailman suurin rakennus, sekä seuraamaan lentokentän liikennettä.



Kuva 1. FuZE-koelaitteisto (kuva: Tomas Lindén).

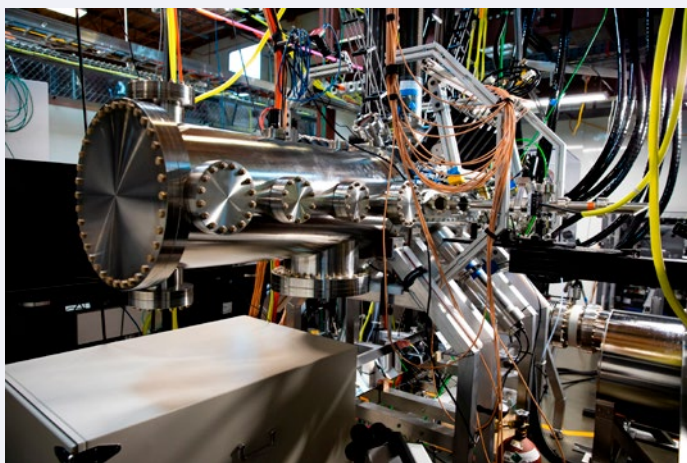
## Zap Energy

Olin sopinut maanantaiamuksi tapaamisen Zap Energyyn [1] tiedottajan Andy Freebergin kanssa. Saavuin taksilla 15 min etuajassa Zap Energylle Everettiin ja ihmettelin pihalla, että olenko oikeassa paikassa, koska mitään nimikylttiä ei näkynyt heidän suuren anonyymin toimistojen teollisuushallin ulkoseinässä. Andy otti minut vastaan ja täytin aulaan olevalla tabletilla pakollisen salassapitosopimuksen, jotta voisin vierailla Zap Energyyn tiloissa.

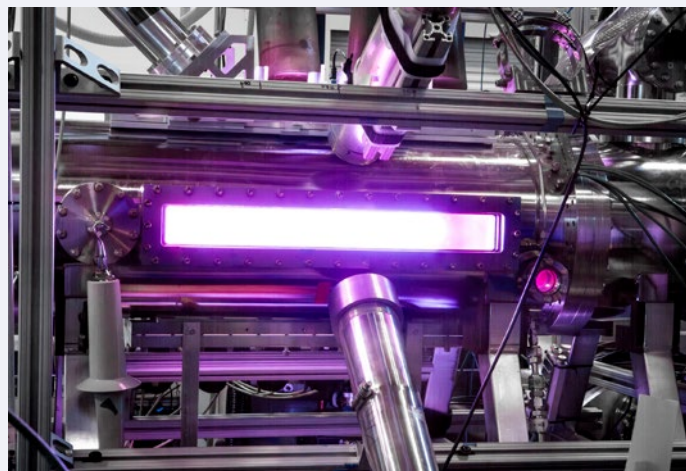
Kävelimme kadun yli toiseen Zap Energyyn rakennukseen, jossa sain nähdä FuZE- ja FuZE-Q-laitteet, jotka ovat kirjaimellisesti pöytäkokoa (kuvat 1 ja 2). FuZE-Q on uudempi ja suorituskykyisempi laitteista [2]. Zap Energyyn konseptissa fuusiovoimalan sydän tulee olemaan lähes yhtä pieni kuin nykyiset koelaitteet. Zap Energyyn ohjaushuone on myös pieni, jos sitä vertailee suurten tokamakien tai vaikka TAE Technologyn vastaaviin tiloihin.

Zap Energy pystyy ajamaan molempia laitteita samaan aikaan, mikä nopeuttaa tutkimus- ja kehitystyötä. Samoilla asetuksilla tehdyt plasmapulssit ovat melko konsistentteja keskenään, mutta pientä variaatiota esiintyy muun muassa kaasun syötön, ionisaation ja turbulenssin takia. He pystyvät ajamaan jopa 100 plasmapulssia päivässä, jos he haluavat ajaa toistuvasti samankaltaisilla asetuksilla. Tyhjiökammioiden avulla plasmaa voi tutkia kameroilla ja spektrometreillä. Kuvassa 3 näkyy miltä FuZE-laitteen plasmapulssi näyttää.

Simulaatio-ohjelmistojen kehitykseen on panostettu Zap Energyllä. Uusimmalla 2-dimensioisella magnetohydrodynaamisella (MHD) mallilla plasmapurkauksien maksimivirta ja maksimijännite eroaa enintään 10% kokeellisista tuloksista [3]. Tällä mallilla on jo ennustettavuutta ja se on käyttökelpoinen uusien laitteiden ja kokeiden suunnittelussa.



Kuva 2. FuZE-Q-koelaitteisto (kuva: Zap Energy).



Kuva 3. Plasmapulssi FuZE-laitteessa (kuva: Zap Energy).

Tarkempaa 3D-mallia tarvitaan kuitenkin tarkastelemaan mutkaepästabiliisuutta (kink instability).

Useimmat fuusiolaitteet tarvitsevat suurtehokondensaattoripankkeja plasman aikaansaamiseksi ja ylläpitämiseksi. Fuusiokokeiden kondensaattoreilta vaaditaan suurta jännitettä ja suuria virtoja, ja tällaisten kondensaattoreiden valmistajia ei ole kovin monia maailmassa. Tällä hetkellä he ostavat muualta tarvitsemansa kondensaattorit. Kesäkuussa 2023 Zap Energy osti suurimman osan konkurssiin menneen italialaisen ICAR-kondensaattoritehtaan laitteistoista, jotta he voisivat itse aloittaa kondensaattoreiden valmistuksen.

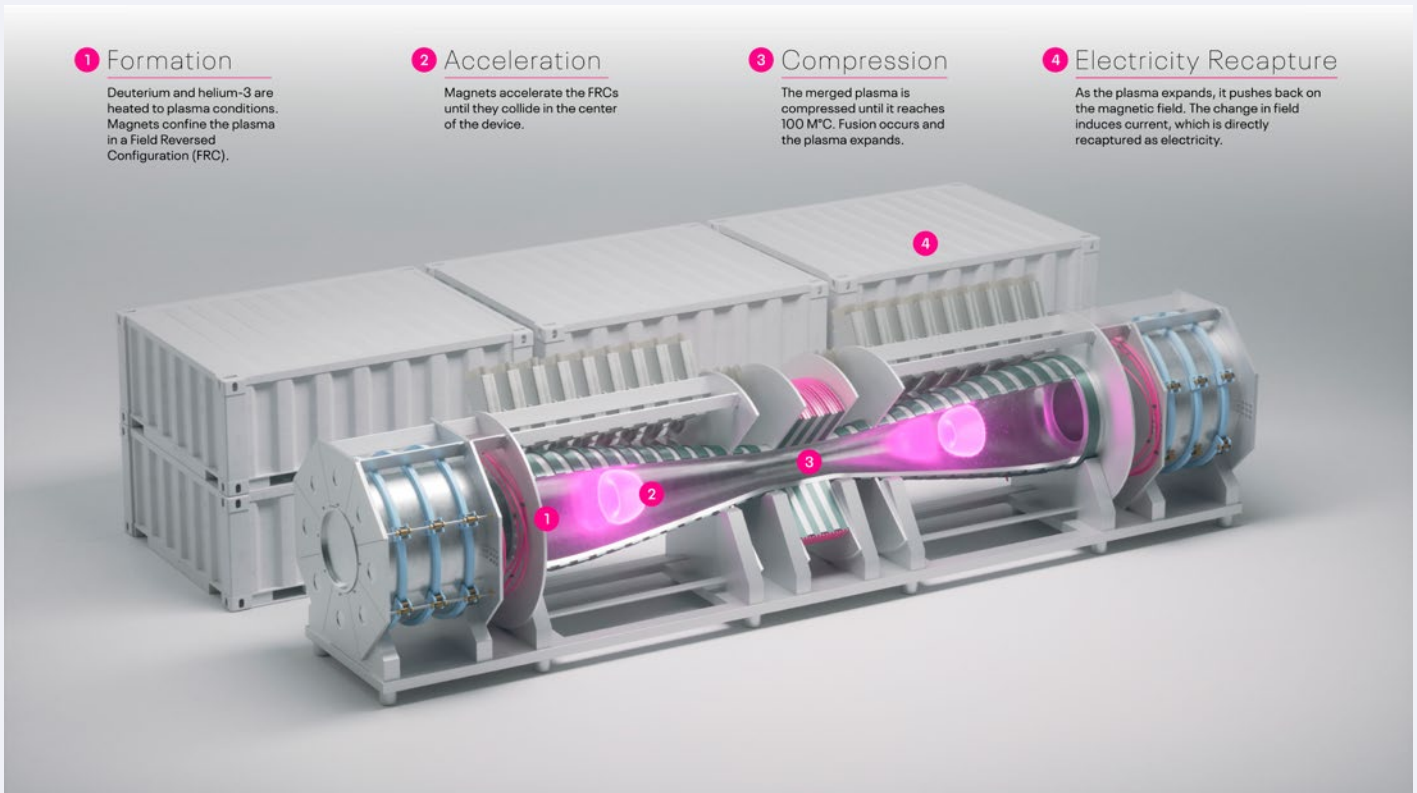
Leikkausstabiloidulle (shear flow stabilized) Z-pinnekonseptille kondensaattoripankit ovat niin oleellisia, että he haluavat valmistaa ne itse, koska muita valmistajia ei ole kovin monta ja muiden valmistajien laatu ei ole aina riittävän hyvä. FuZE-Q-laitteen kondensaattoripankit ovat vakiokokoisissa konteissa, jotta ne olisivat helposti siirrettäviä. Konttikondensaattoripankit tulevat viemään moninkertaisesti tilaa verrattuna Zap Energyyn suunnittelemaan fuusiovoimalan sydämeen.

FuZE-Q on vain hieman suurempi kuin noin 1,5 m pitkä FuZE, mutta siinä on jonkin verran enemmän instrumentteja plasman ominaisuuksien mittaamiseksi. FuZE-Q:lla on kaksi 1 MJ kondensaattoripankkia ja se voi saavuttaa suurempia plasman lämpötiloja ja tiheyksiä. FuZE-Q on suunniteltu osoittamaan, että Z-pinnelaitteistolla voidaan saavuttaa  $Q=1$ , eli tuottaa yhtä paljon fuusioenergiaa reaktioilla, kuin reaktion aikaansaamiseksi kului. Zap Energy tekee kovasti töitä  $Q=1$  tavoitteen saavuttamiseksi optimoimalla koelaitteidensa asetuksia ja niiden tehovirtalähteitä.

Zap Energy kehittää rinnakkain plasmafysiikkaa ja heille tärkeimpiä voimalateknologioita, joita ovat sulametalliseinämät, suurtehokodit ja pulssitetut suurtehovirtalähteet. Andy näytti minulle heidän sulametallikoelaitteistonsa ja kondensaattoritestausalueensa, jotka molemmat sijaitsevat isossa rakennuksessa, johon alun perin saavuin. Zap Energyllä on töissä noin 150 henkilöä ja tähän mennessä yhtiö on kerännyt 208 MUSD rahoitusta.

Andy oli järjestänyt tapaamisen Eric Meyerin kanssa, joka johtaa Zap Energyyn teoria- ja mallinnustoimintaa, ja puhuimme kolmistaan Zap Energystä ja fuusiosta yleensä. Tämän jälkeen tapasin vielä Don Gregoiren, joka vastaa Zap Energyyn regulaatioasiosta, joten puhuimme luonnollisesti fuusion regulaatiosta. Mielenkiintoisen vierailun jälkeen jatkoin vielä fuusiosta keskustelua Andyn kanssa hänen antaessaan minulle autokyydin lähimmälle juna-asemalle, josta matkustin Seattlen keskustaan.





Kuva 4. Helion Energyn reaktorin periaatekuva (kuva: Helion Energy).

### CWFEST 2023

Seattlesta matkustin kolme tuntia bussilla Vancouverin eteläosassa olevaan Richmondiin, jossa yövyin lähellä lentokenttää. Canadian Nuclear Society (CNS) järjesti tiistaina 24. lokakuuta Canadian Workshop on Fusion Energy Science and Technology (CWFEST) 2023:n, koko päivän virtuaalisen työpajan, johon osallistuin. Tapahtuman esitykset ovat saatavilla verkossa [4].

Tilaisuudessa oli yhteensä kaksitoista puhujaa, joista yhdeksän oli yksityisistä yhtiöistä, eli noin 20 % maailman yksityisistä yhtiöistä oli esillä. Seattlen seutuville esitykset pitivät Michael Hua Helion Energystä ja Robin Langtry Avalanche Energystä (nykyään Avalanche Fusion). Avalanche Fusionin tavoitteena on kehittää erittäin pientä ja kompak-tia 5 kWe elektrostaattista fuusiolaitetta. Heillä on 27 työntekijää ja 54 MUSD rahoitusta [5]. CWFEST 2023:ssa puheet olivat mielenkiintoisia ja osoittivat miten laajan kentän yksityiset fuusioyhtiöt kattavat nykyään.

### Helion Energy

Myös Helion Energy [1] toimii Everettissä, noin viiden minuutin ajomatkan päässä Zap Energystä Boeingin lentokonetehaan vieressä isossa Antares-hallissa. Vuonna 2023 Helion Energyllä oli 170 työntekijää [5]. Helion Energyn fuusioidea on luoda, kiihdyttää ja törmäyttää kaksi FRC-plasmoidia, jotka kompressoitaa ulkoisilla magneeteilla [1]. Fuusiossa vapautunut energia otetaan talteen induktiivisesti magneeteilla, koska he tavoittelevat neutronivapaata D-<sup>3</sup>He reaktiota, jossa lopputilassa on vain varattuja hiukkasia (kuva 4).

Helion Energyn uusin paperi käsittelee D-<sup>3</sup>He reaktion hyötyjä korkean beeta-arvon FRC-reaktorissa [6], missä beeta on plasman pai-

neen ja magneettisen paineen suhde. Paperissa tarkastellaan FRC-plasmojen ominaisuuksia ja esitetään yksinkertaisia FRC-malleja, joita on käytetty vertailemaan D-T- ja D-<sup>3</sup>He-reaktioita korkean ja matalan beetan tapauksissa.

Helion Energy on rakentanut uuden Ursa-hallin, jossa rakenteilla olevaa Polaris-laitetta kootaan. Valmistuessaan Polaris tulee olemaan 19 m pitkä. Polariksen tavoitteena on saavuttaa pulssitaajuus, joka on suurempi kuin 0,1 Hz. Laitteen maksimimagneetikentän arvo on Helion Energyn mukaan 15+ T. Polarikseen on tulossa 3800 kpl erilaisia mittalaitteita.



Kuva 5. Ensimmäinen FRC-plasmoidi Polaris-kokeen toisessa plasman muodostavassa laitteessa (kuva: Helion Energy).





Kuva 6. General Fusionin perustaja Michel Laberge näyttelytilassa (kuva: Tomas Lindén)

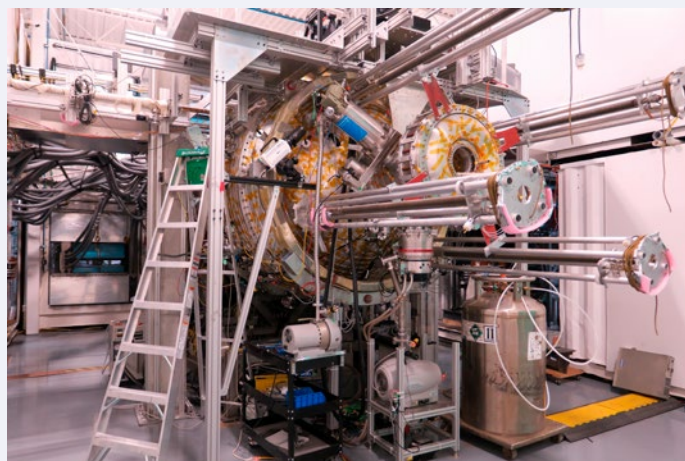
Fuusioreaktori saa käyttöenergiansa kondensaattoripankeista, joissa on energiaa yhteensä 50+ MJ. Polaris on suunniteltu vastaamaan kaupallista 50 MW reaktoria ja sen osat ovat kooltaan sellaisia, että ne voidaan kuljettaa vakiokonteissa. Polariksen tyhjiöputki on kvartsilasia ja sen takia plasma loistaa erityisen selvästi Helion Energyn laitteissa. Kuvassa 5 näkyy ensimmäinen generoitu FRC-plasmoidi Polaris-kokeen toisessa plasman muodostavassa laitteessa. Polttoainekaasunsyötön optimointi on työn alla Helion Energyllä, kuten myös Zap Energylläkin.

Kondensaattoripankit ovat oleellisen tärkeitä myös Helion Energyllä. He ovat ostaneet samoista syistä kuin Zap Energy omat laitteet, joilla he rakentavat itse tarvitsemansa kondensaattorit. Kaikki kondensaattorit testataan yksitellen, ennen kuin ne asennetaan paikoilleen. Fuusioreaktorin sydän tulee olemaan merkittävästi pienempi kuin kondensaattoripankit myös Helion Energyn tapauksessa.

Loppuvuodesta 2021, kun Helion Energy sai 500 MUSD rahoituksen Trenta-kokeen tuloksien perusteella, he ilmoittivat Polariksen tavoitteeksi tuottaa pieni määrä nettosähköä vuonna 2024. Helion Energy näyttää olevan edelleen aikataulussaan. Jos Polariksen tavoitteet saavutetaan, niin silloin Helion Energyllä myönnetään heille vuonna 2021 luvattu 1,7 GUSD lisärahoitus, mikä tietenkin helpottaa ja nopeuttaa heidän jatkokehitystyötään.

Helion Energy solmi toukokuussa 2023 sopimuksen Microsoftin kanssa 50 MW fuusiovoimalan toimittamisesta vuonna 2028! Tämä on tietävästi ensimmäinen fuusioenergian kaupallinen sopimus. Helion Energy on myös tehnyt aiesopimuksen Nucor-teräsyhtiön kanssa 500 MW fuusiovoimalasta, jolla Nucor voi tehdä CO<sub>2</sub>-päästötöntä terästä. Tämän fuusiovoimalan toimitusaika on vuoden 2030 jälkeen.

Helion Energyn isoja kokoonpanotiloja ei ole tarkoitettu pelkästään Polariksen rakentamista varten, vaan ne on myös suunniteltu fuusiovoi-



Kuva 7. General Fusionin PI3-plasmainjektorilaite (kuva: Tomas Lindén).

maloiden ja niiden osien sarjatuotantoa varten. Tulevaisuus saa näyttää, pystyykö Helion Energy saavuttamaan erittäin kunnianhimoiset tavoitteensa.

### General Fusion

General Fusion [1] muutti vuoden 2021 lopussa Richmondiin aivan Vancouverin kansainvälisen lentokentän viereen. Heillä on siellä kolme rakennusta, jotka on merkitty selkeästi General Fusionin nimellä, joten sinne oli helppo löytää. Keskiviikkoaamuna saavuini etuajassa myös General Fusionille, koska hotelli oli erittäin lähellä ja liikenne sujui ongelmitta. Sihteeri kutsui paikalle General Fusionin perustajan ja tutkimuspäällikön Michel Labergen, joka toimi oppaanani (kuva 6).

General Fusion on perustettu yli 20 vuotta sitten, joten he ovat rakentaneet monia tutkimuslaitteita vuosien varrella kehittäessään Magnetized Target Fusion -konseptiaan [1]. Vanhat tutkimuslaitteet on kerätty hienoksi näyttelyksi rakennuksen sisäänkäynnin jälkeen. Minulla oli aikaa tutustua General Fusionin näyttelyyn ensin yksin ja sitten vielä yhdessä Michelin kanssa. Tällä kertaa minua ei pyydetty allekirjoittamaan salassapitosopimusta ja sain vapaasti kuvata mitä halusin.

Elokuussa 2023 General Fusion ilmoitti, että he lykkäävät suunnitelmaa rakentaa Fusion Demonstration Plant (FDP) Culhamiin, Oxfordiin. Ennen FDP:tä he tulevat rakentamaan pienemmän koelaitteen, jonka nimi on Lawson Machine 26 (LM26), jossa on yksinkertaistettu plasman kompressointijärjestelmä. Sen tavoitteena on saavuttaa 100 MK lämpötila vuonna 2025. Seuraavan vuoden LM26-tavoitteena on demonstroida D-T-reaktiota vastaava Q=1 tulos D-D-reaktiolla samalla pienentäen fysiikan riskiä rakentaa FDP.



Kuva 8. General Fusionin P0-laite (kuva: General Fusion).



Kuva 9. Osa General Fusionin kondensaattoripankeista (kuva: Tomas Lindén)

Samassa yhteydessä he ilmoittivat saaneensa 25 MUSD uutta rahoitusta. Yhteensä General Fusion on saanut kerättyä yli 300 MUSD rahoitusta ja heillä on 150 työntekijää [5]. LM26 toteutetaan kiinnittämällä PI3 plasmajektorin pätyyn uusi yksinkertaisempi plasman kompressointilaite, jossa magneettisesti puristetaan kasaan litiumia, joka vuorostaan puristaa plasman kasaan (kuva 7). LM26-plasmat tulevat olemaan noin 50 % kaupallisen fuusiovoimalan plasman koosta.

Prototype 0 (P0) -testialusta on viidesosa LM26-laitteen koosta ja sillä puristetaan magneettisesti kasaan litiumrenkaita (kuva 8). P0-kokeilla varmistetaan tietokonemallien tulokset. Syksystä 2023 huhtikuuhun 2024 P0:lla on tehty yli 20 kompressiokoetta.

Kiertelin Michelin kanssa General Fusionin rakennuksien eri tiloissa ja näin muun muassa työpajan, elektroniikkapajan, PI3-plasmajektorin ja P0-laitteen. Myös General Fusion käyttää isoja kondensaattoripankkeja plasman luomiseksi (kuva 9). Heillä on LM26:ta varten neljä konttia kondensaattoripankkeja, mutta Michel epäilee, että lisää tarvitaan ja että rakennusta on hieman laajennettava.

Kierroksen jälkeen puhuin Michelin kanssa General Fusionin koe-laitteista ja suunnitelmista. Yksi heidän kolmesta rakennuksestaan on ollut COVID-testauskäytössä, mutta General Fusion hankki sen käyttöönsä pandemian jälkeen. Se on tällä hetkellä tyhjiillään, mutta sinne voidaan rakentaa tarpeen vaatiessa jokin nykyisiä laitteita isompi koe. Tällä hetkellä General Fusion keskittyy LM26-kokeen suunnitteluun ja P0-laitteen kokeisiin. LM26-laitteen tuloksia on tarkoitus käyttää FDP-suunnitteluun. Vierailun jälkeen matkustin taksilla läheiselle lentokentälle paluumatkaa varten.

General Fusion on tutkinut edelleen pyörivän sylinterimäisen nesteen kompressointia männillä kokeellisesti ja numeerisesti ja saanut hyvän yhteensopivuuden kokeellisten ja simuloitujen tuloksien välillä, mikä parantaa ennustettavuutta, kun he suunnittelevat MTF-koneita [7]. He ovat myös julkaisseet paperin käyttämästään simulaatiokoodista, joka on aikaisempaa merkittävästi nopeampi ja jota he käyttävät muun muassa LM26-simulaatioihin [8].

## Yhteenveto

Viime vuosina fuusion tutkimus ja kehitys ovat menneet merkittävästi eteenpäin. Tärkeimpiä tuloksia on se, että National Ignition Facility saavutti  $Q=1,5$  tuloksen 5.12.2022 ja on sen jälkeen parantanut tuloksiaan. JET ja muut tokamakien ennätykset sekä yksityisrahoitteisen fuusiotutkimuksen kasvu ovat saaneet monet valtiot ja organisaatiot julkaisemaan fuusiostrategiota. On myös tullut ilmoituksia lisärahoituksesta fuusioalalle ja uusia julkisyksityisiä fuusiorahoitushankkeita on perustettu.

Siksi on odotettavissa, että fuusioala kasvaa entisestään ja että uusia hyviä uutisia on tulossa. Fuusio kehittyy nyt nopeasti ja sen erityispiirteet turvallisuuden kannalta on otettu huomioon Englannissa ja

USA:ssa fuusion reguloinnissa. Suomessa olisi loistava mahdollisuus hyödyntää ydinenergiain menossa olevaa uudistusta huomioimalla myös fuusio lain uudistuksessa [9].

Pohjois-Amerikan luoteisosassa on merkittävä keskittymä fuusioyhtiöitä, joista osa on suurimpien yhtiöiden joukossa. Helion Energyn lisäksi ainakin Commonwealth Fusion Systems on myös rakentanut kyvyn sarjavalmistaa fuusiovoimaloiden komponentteja, mikä kertoo uudesta vaiheesta kilpajuoksussa aikaansaada kaupallinen fuusioenergian tuotto. Fuusio on kuitenkin hyvin vaikea ongelma ratkotavaksi, joten paljon voi vielä tapahtua ennen kuin fuusioenergia toteutuu kaupallisesti. Tulee olemaan hyvin mielenkiintoista seurata lähivuosina, miten fuusio kehittyy Pohjois-Amerikan luoteisosassa sekä muualla maailmassa.

## Viitteet

- [1] T. Lindén, Fuusioyritysten rahoitus lisääntyy ja tutkimus etenee, *ATS Ydintekniikka* 2, 2022, s. 34–38.
- [2] B. Levitt et al., The Zap Energy approach to commercial fusion, *Physics of Plasmas*, 30(9):090603, 2023.
- [3] I.A.M. Datta, E.T. Meier & U. Shumlak, Whole device modeling of the FuZE sheared-flow-stabilized Z pinch, *Nuclear Fusion*, 64(1):066016, 2024.
- [4] [www.cns-snc.ca/about-cns/divisions/fusion/fusion-energy-science-and-technology-cns-fest/](http://www.cns-snc.ca/about-cns/divisions/fusion/fusion-energy-science-and-technology-cns-fest/).
- [5] Fusion Industry Association, The global fusion industry in 2023.
- [6] D. Kirtley & R. Milroy Fundamental Scaling of Adiabatic Compression of Field Reversed Configuration Thermonuclear Fusion Plasmas, *J Fusion Energy* 42, 30 (2023).
- [7] N. S. Mangione et al., Shape manipulation of a rotating liquid liner imploded by arrays of pneumatic pistons: Experimental and numerical study, *Fusion Engineering and Design* 198 (2024) 114087.
- [8] I. V. Khalzov, D. Krotez & R. Ségas, An interface tracking, finite volume code for modeling axisymmetric implosion of a rotating liquid metal liner with free surface, *Physics of Fluids* 36, 032125 (2024).
- [9] M. Airila & T. Lindén, I'd like to build and operate a fusion power plant – who will license it?, *ATS Ydintekniikka*, 4, 2023, s. 25–29.

## Kirjoittaja



**FT Tomas Lindén**

Projektipäällikkö

Fysiikan tutkimuslaitos

Tomas.Linden@helsinki.fi

(kuva: Eva Godenhielm)



# Ydinturvallisuus- ja ydinjätehuoltokurssi ydinvoimayhteisön osaamisen ja kulttuurin uusintajana ja uudistajana

Maarit Laihonen  
Itä-Suomen yliopisto

Kansallinen ydinturvallisuus- ja ydinjätehuoltokurssi (YJK) on suomalaisen ydinalan tiedon jakamisen ja osaamisen siirtämisen keskeinen foorumi. Se on kuitenkin paljon muutakin: YJK ylläpitää alan sisäistä kulttuuria, mutta kurssin opiskelijat myös uudistavat kulttuuria omilla osallistumisen tavoillaan. Tulevaisuuteen suuntautuvat kriittiset kysymykset, ydintekniikan murrosvaihe ja maailmanpolitiikan uudet geopoliittiset jännitteet, jotka vaikuttavat kansainvälisen ydinvoimayhteisön työhön, antavat YJK:lle uusia kannustimia vastata yhä monimutkaisempiin kysymyksiin ydinturvallisuudesta.

National course on nuclear safety and nuclear waste management (YJK) is a central forum for sharing knowledge and transferring knowhow. But it is much more: YJK maintains the internal culture of the industry but the students also renew this culture through their own ways of participation. Future-oriented critical questions, the turning point of nuclear technology and the new geopolitical tensions in world politics that affect the work of the international nuclear community give new incentives to YJK to respond to increasingly complex questions on nuclear safety and security.

Tässä tekstissä tarkastelen Kansallista ydinturvallisuus- ja ydinjätehuoltokurssia (YJK) tiedollisesta, sosiaalisesta ja tämän hetken (energia) poliittisesta näkökulmasta. YJK:ta on nyt järjestetty 20 kertaa ja tuona ajanjaksona niin ydinala, tekniset tulevaisuudennäkymät kuin poliittinen toimintaympäristö ovat muuttuneet radikaalisti.

Talvella 2023–2024 järjestetty kahdeskymmenes YJK, jolle itse osallistuin, oli myös malliesimerkki ydinalan työntekijäsukupolvien murroksesta syklisesti elävällä alalla. Tarjoamiani näkökulmia tekstissä ovat työntekijäsukupolvien murros ja miten se näkyy YJK:ssa, miten kurssi asettuu uuteen geopoliittiseen tilanteeseen ja tekniikan itsensä murrosvaiheeseen. Olen tutkinut ydinvoimaan liittyviä kysymyksiä vuodesta 2010 ja peilaan kurssia alalla näkemääni muutokseen ja pysyvyyteen.

## Kahdeskymmenes YJK

YJK sai kurssilla kuulemamme mukaan alkunsa Olkiluoto 3-projektin alkuaikoina, kun osaamistarpeet uuden ydinvoimahankkeen myötä kasvoivat Suomessa. Ydinvoima – uuden voimalan rakentaminen, sen käyttö ja koko elinkaari – on mielenkiintoinen yhteiskunnallinen ilmiö siksi, että se ei rajoitu pelkästään teknisiin kysymyksiin vaan jo toimiva ydinvoimatutanto itsessään vaatii kymmeniä eri osaamisalueita. Energiantuotanto kaikissa muodoissaan ylipäättään on herkkä poliittinen

kysymys ja tämänkin kurssin keskiössä oleva turvallisuus palautuu toimivaan organisaatioon eli ihmisiin. YJK:n osallistujat ovatkin itsessään erinomainen kuva siitä, mitä kaikkea ydinvoima on.

YJK:n rakenne on modulaarinen samoin kuin Kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n ydinvoimayhteisölle tarjoamilla kursseilla. Moduulit elävät ajassa: siitä, mitä alalla tapahtuu, mutta myös opettajien osaamisen ja vaihtumisen mukaan. Entisistä YJK-opiskelijoista monista tulee seuraavien kurssien opettajia. Useiden luentojen alussa kuulummekin, millä YJK:lla opettaja itse on ollut. Osa kurssia käyvästä myös pitää luennon sillä samaisella kurssilla. Ja kuten kaikki tiedämme koulusta, korkeakouluista ja yliopistoista, jokainen opettaja on oma persoonansa. YJK:n vähintäänkin valtavaksi kuvailtava opintosisältö saa siis mausteensa paitsi opiskeltujen aiheiden valtavasta kirjosta myös opettajien persoonallisista otteista aiheisiinsa.

Kenttäkierrokset laitoksissa ja laboratorioissa ovat tietenkin aina kaikessa opetuksessa suosittuja, niin myös YJK:ssa. Parhaimmillaan työstään innostunut ihminen pääsee kertomaan arjestaan moninaiselle yleisölle. Siitä huolimatta, että YJK:laiset periaatteessa ovat ”samalla alalla”, työtehtävät voivat poiketa toisistaan kuin yö ja päivä. Tämä aiheiden, puhujien, tekijöiden ja opiskelijoiden kierto modulaarisessa kurssissa uusintaa ihmisten kautta ydinvoima-alaa mikrotasolla, samalla kun keskeiset turvallisuusperiaatteet elävät ehkä jopa huomattavasti hitaampaa kiertoaan.

## Uusintamista ja uusiutumista

Teollisuuden eri aloilla on vahvasti omanlaisensa kulttuurit, joita uusinnetaan myös erilaisissa koulutuksissa. Ydinvoima-ala on poikkeuksellinen siitä, että itse ydintekniikan osaajat ovat vain pieni osa koko työntekijäkuntaa. Ydinvoima-ala koostuu ydinvoimantuottajien lisäksi lukuisasta joukosta eri alojen viranomaisia, verkoston muista yrityksistä, tutkimuksesta useilta aloilta sekä valtavasta kansainvälisestä verkostosta, jossa huolehditaan myös ydinaseiden leviämisen estämisestä. Ja kaikissa näissä ammattiryhmissä on omat toimintakulttuurinsa, jotka ydinvoima tuo yhteen.

Osaamisen ja tiedon johtaminen, organisointi ja siirtäminen eteenpäin ovat kaikkien alojen ikuinen haaste ja sitä on tutkittu laajasti [1, 2, 3]. Monialaisella alalla, kuten ydinvoima, se on tietenkin erityinen kysymys: kukaan ei pysty hallitsemaan kaikkea reaktorifysiikasta riskianalyysiin, ympäristövaikutusten arviointiin, taloudellisiin arvioihin ja viestintään tai kymmeniin muihin osaamisalueisiin. Koska osaaminen ei kuitenkaan ole pelkkää tietoa vaan myös toimintakulttuuria ja käytäntöjä [4, 5], pitää niin sanotun teknisen osaamisen lisäksi siirtää valtava määrä muuta osaamista, joka alalla järjestyy usein turvallisuuskysymyksen ympärille. Tämä on haaste, johon YJK pyrkii vastaamaan.

Kurssin keskiössä ovat tietenkin luennot ja tehtävät:

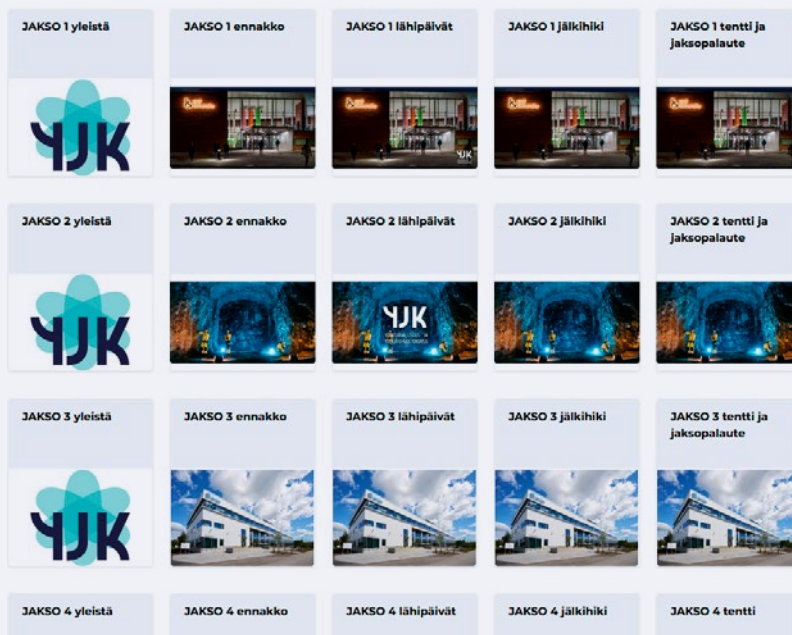
etänä katsottavat ennako- ja jälkihikiluennot sekä lähipäivien luennot ja ryhmätyöt sekä lopputentit. Opettajien persoonat ja suhde omaan aiheeseensa kuitenkin ovat kurssin keskeinen suola. Osa kiinnittää esityksensä aikaan ja esimerkkeihin ja ylisukupolvisen turvallisuusoppimiseen. Toisten aiheet taas ovat ajattomampia, vaikka esimerkiksi tutkimusmenetelmien kehitys ja tieteen kehitys yleisesti ovat keskeisessä roolissa siinä, millaista ja millä tavalla turvallista tekniikkaa seuraavat alan sukupolvet rakentavat ja käyttävät.

Kaikki opetustyötä tekevät tietävät, että opiskelijat kuitenkin tekevät puolet opetuksesta: mikro- ja makrotasojen kulttuurin pysyvyys ja uudistuminen syntyy vuorovaikutuksesta kaikkien osallisten kesken. Turvallisuuskysymysten suuret linjat saattavat näyttää sementoiduilta, mutta niitä tekevät ja toteuttavat kuitenkin ihmiset. [6, 7] Mikrotasolla opiskelijat uusintavat ja uudistavat toimintatapoja ja kulttuuria tuomalla oman alansa uusimmat opit, jos tulevat esimerkiksi suoraan opinnoista [8], tai muiden alojen parhaat käytännöt, jos siirtyvät muilta aloilta [9].

## Uudet tekniset ja geopoliittiset haasteet

Lyhyessä ajassa ydinvoimaosaaminen on kohdannut ainakin kaksi keskeistä uutta haastetta: julkinen keskustelu ja ”hype” modulaarisista pienreaktoreista (SMR) sekä Venäjän toimet ydinturvallisuuden luottamusympäristön horjuttamiseksi Ukrainassa tehtyjen ydinvoimalakaappausten muodossa. SMR:t kiinnostavat YJK20:llä ja ilmeisesti ovat kiinnostaneet aiemminkin, koska muutamat luennoitsijat mainitsivat erikseen välittömästi luentonsa alussa, etteivät pysty antamaan ehkäpä toivottuja vastauksia aiheeseen.

Ydinenergialaki on päivityksessä ja SMR:ien toimintaperiaatteiden erilaisuus suuriin voimaloihin on yksi osa uudistusta. Samaan aikaan maailmalla käydään teknistä kilpaa siitä, mikä SMR-malli osoittautuu lupaavimmaksi. VTT on pitkällä oman mallinsa kanssa. Tekniikka ei kuitenkaan ole ainut kysymys vaan rahoitus nousee keskeiseen osaan, kun politiikka on myönteistä niin pienten kuin isojen reaktio-



Kuva 1. YJK-kurssikokonaisuutta hallitaan LUT-yliopiston Moodle-ympäristöön rakennettun kojelaudan kautta.

reiden avauksille ja sääntely uudistuu käytännössä kokonaan laista YVL-ohjeisiin.

Niin SMR-startupit kuin perinteiset suuret ydinvoimalahankkeet maailmalla kaipaavat rahoitusta ja SMR:ien kehityksessä on tietenkin kyse suurista ja pitkäaikaisista epävarmuuksista. Ydinvoimaa ei maailmassa ole yksityisellä rahoituksella käytännössä rakennettu, ellei suomalaisen Mankala-mallin yksityisen omistuksen mittavaa osuutta oteta huomioon [10]. Varsinkin SMR:t ovat riippuvaisia niin sanottujen enkelisijoittajien ja vastaavien riskinottajien kiinnostuksesta, koska kehitysvaiheesta on pitkä matka toimiviin sarjavalmisteesiin ydinvoimaloihin. Ehkäpä näistäkin kehityskuluista löytyisi joitakin kiinnostavia aiheita YJK:lle?

Toimintaympäristö ei kuitenkaan tule annettuna eivätkä toimintaympäristön muutokset – vaikka olisivat positiivisia ja odotettujakin – ole koskaan helppoja. Alan mukana YJK:n pitää tietenkin uudistua vastaamaan uutta toimintaympäristöä. Tässä kurssilaisten rooli muuttuu kriittiseksi: samoin kuin kaikessa koulutuksessa, tässäkin opiskelijoiden hyvät kysymykset vievät opetusta eteenpäin ja kehittävät seuraavia kertoja varten. Korkeakouluissa usein puhumme kriittisen ajattelun merkityksestä [11], eikä sen oppimista tulisi YJK:nkaan kontekstissa unohtaa, koska maailma muuttuu, vaikkei sitä toivottaisi.

Ei-toivottu toimintaympäristön muutos tapahtui, kun Venäjä rikkoi luottamukseen perustuvaa ydinturvallisuuden keskeistä periaatetta hyökkäämällä ukrainalaisiin ydinvoimaloihin 2022. Zaporizjan tilanne on jatkunut tähän päivään saakka. Venäjä on aina ollut merkittävä kansainvälinen toimija ydintekniikassa ja -politiikassa paitsi suuren ydinasevarantonsa takia, myös siviilisovelluksissa ja IAEA:n yhteistyössä esimerkiksi tieteellisesti ja ydinaseiden leviämisen estävässä toiminnassa. Vuonna 2014 Suomi myös teki valtioiden välisen ydinvoimayhteistyösopimuksen Venäjän kanssa [12].

Nämä roolinsa Venäjä romutti omaehtoisesti omilla toimillaan. Uudet uhkat ja riskit kuuluvat turvallisuusnäkökulmasta turvajärjestelyiden ja ydinmateriaalivalvonnan piiriin eivätkä näin ollen kuulu YJK:n ydintur-



## JAKSO 5 - Käyttöturvallisuus ja käyttöiän hallinta (TVO)

Olkiluoto, Eurajoki  
(T. Kuusimäki)

Ennakkotehtävät	Lähipäivät 13.-15.2.2024			Jälkihiki
E5.1 Käytön viranomaisvalvonta <b>Niko Mononen, STUK</b> video 35 min	<b>8.45–9.00</b> L5.0 Jakson avaus <b>Tiina Kuusimäki, TVO</b>	<b>8.10–9.00</b> Olkiluodon alueen infran esittely <b>Mika Tanhuanpää</b>	<b>9.00–9.50</b> L5.6 Määräaikaistarkastus-ohjelmat sekä ohjelman tavoitteet ja sovellusalueet <b>Ari Kuuslaako, TVO</b> <b>Petri Luostarinen, Fortum</b>	J5.1 Laitosmuutosten hallinta <b>Mikko Lampinen, TVO</b> video 40 min
E5.2 Kunnossapidon tavoitteet, toteutustavat ja organisointi <b>Sauli Suoniemi, TVO</b> video 40 min	<b>KÄYTTÖTURVALLISUUS</b> <b>9.00–9.50</b> L5.1 Käyttötoiminta, organisaatio ja käyttöohjeisto <b>Nina Paaso, TVO</b>	<b>9.00–10.00</b> Kulkuluovitus TVO:n vierailukeskuksessa (sis. kahvit) <b>HUOM! Passi tai henkilökortti esitettävä</b>  <b>Klo 10.00–16.15</b> Kolme tutustumiskohdetta pienryhmissä opastetusti  <b>1. Vierailu OL1 tai OL2</b>  <b>2. VLJ- luola ja ONKALO-näyttely</b>  <b>3. Vierailu OL3</b> Päivän yksityiskohtaisempi aikataulu ryhmäjakoineen jaetaan jakson alussa. Lopulliset vierailukohteet määräytyvät kulloisenkin laitostilanteen mukaan.  <b>Mika Tanhuanpää, Juha Poikola, Kari Grönman, TVO sekä kolme erikseen nimettyä TVO-konsernilaista apuopasta</b>	<b>09:50 - 10:20</b> <b>KAHVITAUKO</b>	J5.2 Määräaikainen turvallisuusarviointi <b>Tomi Koskinieni, STUK</b> podcast 40 min
E5.3 Prosessin kemian valvonta yleisesti ja BWR-laitos <b>Kimmo Tompuri, TVO</b> video 50 min	<b>09:50 - 10:20</b> <b>KAHVITAUKO</b>		<b>10.20–11.10</b> L5.6 Määräaikaistarkastus-ohjelmat sekä ohjelman tavoitteet ja sovellusalueet <b>Ari Kuuslaako, TVO</b> <b>Petri Luostarinen, Fortum</b>	<b>TENTTI</b> ~ 60 min  <b>Aiheet pitää olla käytynä viikko lähipäivien jälkeen</b>  <b>Videoiden ja tentin yhteiskesto: 2 h 20 min</b>
E5.4 Prosessin kemian valvonta, PWR-laitos <b>Kimmo Tompuri, TVO</b> video 50 min	<b>10.20–11.00</b> L5.2 Turvallisuustekniset käyttöehdot (TTKE) <b>Otto Inkinen, TVO</b>		<b>11.20–12.10</b> L5.6 Määräaikaistarkastus-ohjelmat sekä ohjelman tavoitteet ja sovellusalueet <b>Ari Kuuslaako, TVO</b> <b>Petri Luostarinen, Fortum</b>	
E5.5 Nestemäisten jätteiden puhdistusmenetelmät <b>Ilkka Ropponen, Fortum</b> video 20 min	<b>11.10–12.00</b> L5.3 Käyttökokemusten hyödyntäminen käyttötoiminnan ja ohjeistojen kehittämisessä <b>Otto Inkinen, TVO</b>		<b>12:10 – 13:10</b> <b>LOUNAS</b>	
E5.6 Materiaalien ja komponenttien ikääntyminen <b>Joel Maunula, Platom</b> video 20 min	<b>12:00 – 13:00</b> <b>LOUNAS</b>		<b>13.10–14.30</b> L5.7 NDT- testaus (demot erillisen aikataulun mukaan (sis. kahvit))	
<b>Aiheet pitää olla käytynä ennen lähipäiviä</b>  <b>Videoiden yhteiskesto: 3 h 35 min</b>	<b>13.00–14.30</b> L5.4 Käyttökokemusten hyödyntäminen toiminnan kehittämisessä, ryhmätyö ja ryhmätyön purku <b>Petri Koistinen, TVO</b>	<b>14.40–15.30</b> L5.8 Laitoksen luotettavuuden hallinta (ER) – käytännön esimerkkejä <b>Dino Nerweyi, TVO</b>		
	<b>14:30 -15:00</b> <b>KAHVITAUKO</b>	<b>15.30–15.45</b> Jakson lopetus <b>Tiina Kuusimäki ja Emilia Hautamäki</b>		
	<b>TARKASTUS- JA HUOLTOTOIMINTA</b> <b>15.00–15.50</b> L5.5 Määräaikaiskokeet ja kunnonvalvonta OL1, OL2, OL3 <b>Sauli Suoniemi, TVO</b>	<b>MUKAVAA KOTIMATKAA</b>		
	<b>15.50–16.15</b> Seuraavaan päivään valmistautuminen <b>Tiina Kuusimäki ja Emilia Hautamäki</b>	<b>Illanvietto Raumalla 17.30–20 →</b>		

Kuva 2. Esimerkki kurssin sisällöstä: kurssiviikon 5 aiheena on käyttöturvallisuus ja käyttöiän hallinta, ja sen lähipäivät järjestää TVO Olkiluodossa.



vallisuus-pääfokukseen (safety) [13]. Toisaalta eri turvallisuustoiminnot eivät ole yksiselitteisesti toisistaan riippumattomia vaan muodostavat kokonaisuuden, jolla ydinvoimaloiden turvallisuus taataan.

Poliittisen toimintaympäristön analyysiä tehdään yleensä liiketoimintamahdollisuuksien näkökulmasta [14], mutta ydinvoiman tapauksessa se vaikuttaa myös ydinvoiman käyttöön turvallisuusnäkökulmasta. Venäjä itse jatkaa meneillä olevia ja suunniteltuja hankkeitaan esimerkiksi Turkissa ja Egyptissä [15]. Vaikka tapahtumien vaikutukset turvallisuuskysymyksiin ovat osin ennakoimattomia eikä vastauksia paljon ollut saatavilla, kiinnostivat ne monia YJK20-kurssilaisia.

## Läpileikkauskuva

YJK on läpileikkauskuva alasta ja ajasta: ydinvoimarenessanssi aiheuttaa paitsi innokkuutta ja toiveikkua, myös kasvavia osaamistarpeita. Ydinvoimateollisuuden syklinen historia on ajoittain lähes ajanut alas kokonaisia kriittisiä osaamisaloja. Monissa maissa onkin esimerkiksi viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana käynnistetty täysin uusia tutkimus- ja koulutusohjelmia, koska uutta ydinvoimaa on haluttu alkaa tai alettu rakentamaan [16, 17]. Omanlaisiaan oppimisprosesseja käyvät läpi maat, jotka ovat uusia tulokkaita koko alalla. Esimerkiksi Arabiemiraatit loivat oman ydinvoimaohjelmansa tyhjästä tuomalla ulkopuolelta kaiken osaamisen, ja ilmiötä onkin tarkkailtu kiinnostuneena laitosten valmistuessa.

Kuten mainittua, ydinvoima-alan osaaminen on kuitenkin paljon muutakin kuin suoranaisen ydintekniikan osaamista, vaikka ilman ydinfysiikkaa ja -insinööritaitoa muulla osaamisella ei pitkälle päästä. Luotettava tutkittuun tietoon perustuva hallinto ja valvonta, analyysimenetelmien kehitys, viestintä- ja yhteiskuntasuhdeosaaminen sekä lukuisat muut alueet yhdessä muodostavat toimivan osaamisinfrastruktuurin. Ulospäin uskottava kokonaisuus vaatii kaikkien osa-alueiden hallintaa ja jatkuvaa oppimista [18].

Tutkittuani vuosia ydinvoimaa yhteiskunnallisena ilmiönä oli mielenkiintoista päästä mukaan YJK-kurssille. Monet omat oppini ovat jo

vuosikymmenen takaa ja oli kiehtovaa nähdä, miten pysyvyys ja jatkuva muutos tulevat yhdeksi luokkahuoneissa. Aiheiden kirjo on välttämättä haaste monialaiselle joukolle ja samalla ainutlaatuinen mahdollisuus päästä näkemään, mitä organisaatioiden eri osissa tapahtuu.

Organisaatioiden toiminnoilla on tapana siiloutua, emmekä useinkaan tiedä, mitä toisella osastolla tai alan toisessa – edes yhteistyökumppanin – organisaatiossa tapahtuu ja tehdään [19]. Viime vuosina ala on myös jossain määrin avautunut ulkomaailmalle esimerkiksi sosiaalisen median myötä, kun vaikkapa Olkiluoto 3:n ensimmäistä vuosihuoltoa on päästy seuraamaan esimerkiksi Instagramissa.

Se, mitä mistä tahansa työstä näkyy ulospäin, on vain jäävuoren huippu. Ydinvoima-ala sanoittaa ja on pitkään sanoittanut tätä nimenomaan turvallisuuden kautta. YJK:n tarkoituksena taas on sanoittaa turvallisuuden kokonaisuutta alan ihmisille itselleen. Vaikka sisällöt ovat jaetut, poimii jokainen tietenkin itselleen kiintoisimmat asiat.

## Lopuksi

Erityispiirteistään huolimatta ydinvoima on kuitenkin pääasiassa kuitenkin mikä tahansa teollisuuden ala. Näihin erityispiirteisiin YJK kuitenkin keskittyy, koska juuri muualta niitä ei voi oppia. Toki jokainen alan ammattilainen osaa oman erityisalansa sekä siihen liittyvät läheiset turvallisuuskysymykset.

Sanonta ”ei tämä mitään ydinfysiikkaa ole” näyttäytyy erityisen hauskana YJK:n jälkeen: kyllä se nimenomaan on sitä ja monta muuta monimutkaista ja haastavaa aihetta, joista muodostuu ydinalan kiehtova kudelma, joka yhtä aikaa pysyy ja on muutoksessa ja tarjoaa paljon tekemistä, opittavaa ja ajateltavaa tulevaisuudessakin.

*Koneen Säätiön rahoittama tutkimukseni käsittelee ydinvoimaan ja ydinaseisiin liittyviä eettisiä ja poliittisia kysymyksiä erityisesti tulevaisuudessa. Osallistuin kurssille opiskelijana päivittämässä osaamistani aiheesta, enkä näin ollen kerännyt kurssilta tutkimusaineistoa.*

## Viitteet

- [1] Khan, Z., Nair, S. R., & Lew, Y. K. (Eds.). (2022). Research handbook on knowledge transfer and international business. Edward Elgar Publishing.
- [2] Leonard, D., Swap, W. C., & Barton, G. (2014). Critical knowledge transfer: Tools for managing your company's deep smarts. Harvard Business Review Press.
- [3] Antunes, H. D. J. G., & Pinheiro, P. G. (2020). Linking knowledge management, organizational learning and memory. *Journal of Innovation & Knowledge*, 5(2), 140-149.
- [4] Perrow, C. (1986). *Complex organizations: A critical essay*. Scott, Foresman and Company.
- [5] Reiman, T., & Oedewald, P. (2008). *Turvallisuuskriittiset organisaatiot. Onnettomuudet, kulttuuri ja johtaminen*. Helsinki: Edita.
- [6] Hald, E. J., Gillespie, A., & Reader, T. W. (2021). Causal and corrective organisational culture: A systematic review of case studies of institutional failure. *Journal of Business Ethics*, 174, 457-483.
- [7] Sydänmaanlakka, P. (2009). Jatkuva uudistuminen: Luovuuden ja innovatiivisuuden johtaminen. Talentum.
- [8] Williams, C., Chen, P. L., & Agarwal, R. (2017). Rookies and seasoned recruits: How experience in different levels, firms, and industries shapes strategic renewal in top management. *Strategic Management Journal*, 38(7), 1391-1415.
- [9] Francis, G., & Holloway, J. (2007). What have we learned? Themes from the literature on best-practice benchmarking. *International Journal of Management Reviews*, 9(3), 171-189.
- [10] Kee, E. (2015). Can nuclear succeed in liberalized power markets? *World Nuclear News* 4.2.2015. <https://www.world-nuclear-news.org/v-can-nuclear-succeed-in-liberalized-power-markets-0420152.html>
- [11] Tomperi, T. (2017). Kriittisen ajattelun opettaminen ja filosofia. *Pedagogisia perusteita. niin&näin* 4/2017, 95-112. <https://netn.fi/sites/www.netn.fi/files/netn174-17.pdf>
- [12] Valtioneuvoston asetus 32/2015. Suomen tasavallan hallituksen ja Venäjän federaation hallituksen välinen sopimus yhteistyöstä ydinenergian rauhanomaisen käytön alalla. Valtiosopimus. [https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/2015/20150032/20150032\\_2](https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/2015/20150032/20150032_2)
- [13] Työ- ja elinkeinoministeriö (ei päivystä). Turvajärjestelyt ja ydinmateriaalivalvonta. <https://tem.fi/turvajarjestelyt-ja-ydinmateriaalivalvonta>

- [14] Baron, D. P. (2013). Business and its environment. 7. painos. Pearson.
- [15] World Nuclear Association (2024). Plans For New Reactors Worldwide, päivitetty 30.4.2024. <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide.aspx>
- [16] Orayeva, J. (2018). Bridging the Gap: Knowledge Transfer to Next Generation of Nuclear Workforce. Kansainvälinen atomienergiäjärjestö IAEA 19.9.2018. <https://www.iaea.org/newscenter/news/bridging-the-gap-knowledge-transfer-to-next-generation-of-nuclear-workforce>
- [17] Pfeifer, S. & Millard, R. (2023). UK ministers plan task force to plug nuclear skills gap. Financial Times 1.8.2023. <https://www.ft.com/content/2e420836-c529-484b-a119-9f0b833acb08>
- [18] Ahmed, P. K., Loh, A. Y., & Zairi, M. (1999). Cultures for continuous improvement and learning. Total Quality Management, 10(4-5), 426-434.
- [19] Tett, G. (2015). The silo effect: The peril of expertise and the promise of breaking down barriers. Simon and Schuster.

---

### Kirjoittaja



**KTT, VTM Maarit Laihonen**

Yliopistotutkija  
Yhteiskuntatieteiden laitos  
Itä-Suomen yliopisto  
[maarit.laihonen@uef.fi](mailto:maarit.laihonen@uef.fi)

# Diplomityö: OL3-laitosyksikön suorituskyvyn analysointi laitosdatan ja digitaalisen kaksosen avulla

Aaro Antin

Ydinvoimalaitosten suorituskyvyn seurannalla ja analysoinnilla voidaan havaita muutoksia laitosten toiminnassa ja arvioida mahdollisuuksia laitosprosessien kehittämiseen. Diplomityössä kartoitettiin suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä ja analysoitiin OL3-laitosyksikön käyttäytymistä takuukoemittausten aikana kolmella analyysimenetelmällä. Näistä GRS-menetelmää käytettiin ensimmäistä kertaa suorituskyvyn analysointiin.

Performance monitoring and analysis of nuclear power plant facilitate the identification of changes in plant processes and opportunities for process optimization. In this thesis, the performance factors of the nuclear power plant were examined, and the performance of the OL3 plant unit during guarantee tests was analyzed using three distinct analysis methods. The GRS method was applied for performance analysis for the first time in this thesis.

Ydinvoimalaitosten suorituskykyä mitataan suorituskykyindikaattoreiden avulla. Laitoksen tehokkuutta kuvaavat esimerkiksi generaattoriteho ja terminen hyötysuhde. Tämän lisäksi yksittäisille prosessikomponenteille voidaan laskea niiden toimintaa kuvaavia tunnuslukuja, kuten asteisuus, alijäähtyminen ja kosteudenerottimen erotustehokkuus. Diplomityön tavoitteena oli tarkastella mitkä tekijät vaikuttavat eniten OL3:n sekundääripiirin suorituskykyyn.

Työn teoriaosuudessa tunnistettiin suorituskykytekijöitä, joiden vaikutusta on mahdollista tarkastella laitoksen digitaalisena kaksosena toimivan Apros-laitosmallin avulla. Ensimmäisessä analyysimenetelmässä suorituskykyindikaattoreiden arvoja laskettiin laitosmittausdatasta prosessidatan analysointiohjelmalla. Kaksi muuta menetelmää ovat IAEA:n esittämä suorituskyvyn seurantamenetelmä ja tilastollisiin menetelmiin perustuva GRS-menetelmä. Näistä molemmat toteutettiin Apros-laitosmallin avulla.

## GRS-menetelmä

Työssä käytetty GRS-menetelmä perustuu saksalaisen GRS-tutkimuslaitoksen (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH) kehittämään tilastolliseen epävarmuusmenetelmään, jota käytetään turvallisuusanalyysien epävarmuuden määrittämiseen. Epävarmuusanalyysissä lähtöarvoina tunnistettujen epävarmuus tekijöiden epävarmuuden ajatellaan kertyvän tulosparametrien epävarmuuteen. Lähtöarvojen vaikutus huomioidaan laskemalla analyysi useita kertoja eri lähtöarvoilla, jotka poimitaan satunnaisotannalla niille muodostetuista todennäköisyys-

jakaumista. Tarvittava laskentakierrosten lukumäärä määräytyy tulokselta vaaditun todennäköisyyden ja luottamuksen perusteella Wilksin lauseiden mukaisesti.

Käytettäessä GRS-menetelmää suorituskykyanalyyysiin varioitavat lähtöarvot ovat epävarmuus tekijöiden sijaan suorituskyky tekijöitä. Suorituskyky tekijöille määritettiin todennäköisyysjakaumat, jotka kuvaavat niiden mahdollisia arvoja analysoidulla ajanjaksolla. Työssä suorituskyky tekijät jaettiin kahteen ryhmään jakaumien määrittävien perusteella. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat meriveden lämpötila  $T_{cw}$  ja reaktoriteho  $P_r$ , joiden todennäköisyysjakaumat määritettiin laitosmittausdatasta. Toiseen ryhmään kuuluvat lauhduttimen ja esilämmittimien likaantumisvastukset  $R$ , sekä kosteudenerottimien erotuskäyrät  $f_{co}$ , joiden todennäköisyysjakaumat määritettiin tieteellisten julkaisujen perusteella.

Simulointivaiheessa Apros-laitosmallilla laskettiin 100 laskentatapausta, joiden välillä jokaista epävarmuus tekijää varioitiin niiden todennäköisyysjakaumien mukaan. Kuvassa 1 on esitetty meriveden lämpötilan saamien arvojen jakautuminen histogrammina. Laskentatapaukset ajettiin simulointiohjelmaa ohjaavan skriptin avulla.

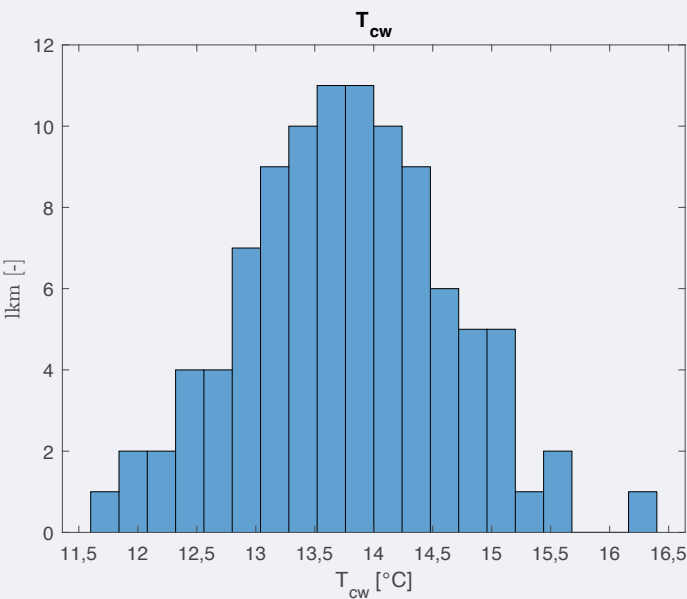
Simulointien tuloksena suorituskykyindikaattoreille saatiin tulosjoukko, josta määritettiin indikaattoreiden mahdollinen vaihteluväli sekä todennäköisin arvo. Tuloksia verrattiin muilla analyysimenetelmillä saatuihin tuloksiin. Lisäksi herkkyydeltään tarkasteluna laskettiin kunkin suorituskyky tekijän ja suorituskykyindikaattorin välinen korrelaatiokerroin. Korrelaatiokertoimien avulla arvioitiin eri suorituskyky tekijöiden vaikutusta suorituskykyindikaattoreiden arvoihin ja edelleen laitoksen toimintaan.



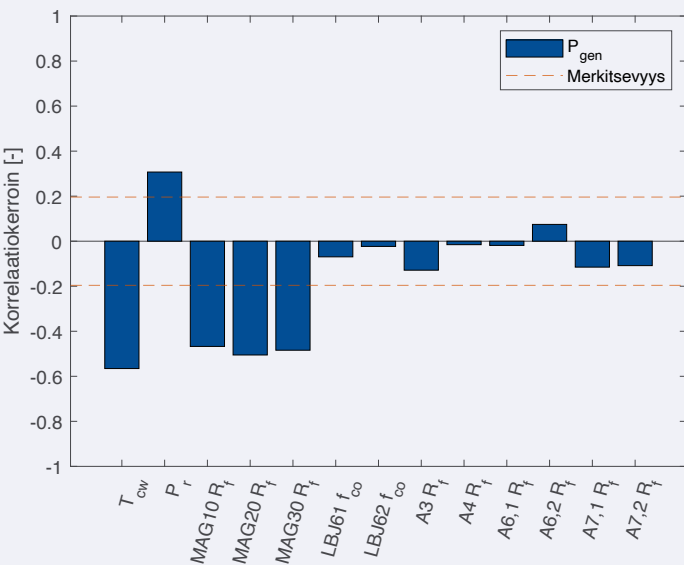
### Analyysimenetelmien vertailu

Edellä kuvattu GRS-menetelmä on käytetyistä analyysimenetelmistä työläin toteuttaa, mutta tarjoaa hyvin kattavat mahdollisuudet suorituskyvyn analysointiin. Suorituskykyindikaattoreiden lisäksi simuloinneista voidaan tallentaa useiden prosessiparametrien arvoja, jotka mahdollistavat monimutkaistenkin riippuvuuksien tarkastelun.

Vaihtoehtoisessa IAEA-menetelmässä tarkasteltiin ainoastaan meriveden ja reaktoritehon vaikutusta suorituskykyindikaattoreiden arvoihin.



Kuva 1. Meriveden lämpötilan saamien arvojen jakautuminen eri laskenta- kierroksilla.



Kuva 2. Suorituskykytekijöiden ja generaattoritehon väliset Pearsonin korrelaatiokerroimet sekä tilastollisen merkitsevyyden raja.

Menetelmä on yksinkertaisempi toteuttaa ja tarjoaa helpommin tulkittavia tuloksia, mutta tarkasteltavien tekijöiden määrä on rajallisempi.

Molemmat Apro-mallia hyödyntäneet menetelmät osoittivat simulointimallin edut suorituskykyanalyyseissä. Simulointimallilla voidaan tarkastella laitoksen käytöstä erilaisissa olosuhteissa ilman että laitosta tarvitsee ajaa suorituskykykokeita varten tiettyyn tilaan. Lisäksi malli tarjoaa dataa prosessin jokaisesta pisteestä ja sillä voidaan tarkastella ilmiöitä, jotka ovat todellisuudessa vaikeasti mitattavissa. Laitosmittausdatasta lasketut suorituskykyindikaattorit soveltuvat hyvin laitoksen päivittäiseen seurantaan, mutta ilmiöiden tarkempaa analysointia rajoittaa laitoksella olevien mittausten määrä ja tarkkuus.

### Analyysin tulokset

Kuvassa 2 on esitetty suorituskykytekijöiden ja generaattoritehon väliset korrelaatiokerrointen arvot. Lisäksi kuvaan on piirretty tilastollisen merkitsevyyden raja, joka oli analyysissä 0,196 suuntaansa. Analyysin mukaan merkittävin vaikutus generaattoritehoon on meriveden lämpötilalla, lauhduttimen likaantumisella ja reaktoriteholla. Sen sijaan syöttöveden esilämmittimien likaantumisella tai kosteudenerottimien erotuskyvyllä ei ilmennyt olevan analyysin puitteissa tilastollisesti merkittävää vaikutusta generaattoritehoon tai termiseen hyötysuhteeseen. Niiden vaikutus komponenttikohtaisiin suorituskykyindikaattoreihin oli kuitenkin selvä.

Sekä meriveden lämpötilan nousu että lauhduttimen likaantuminen kasvattavat lauhduttimen painetta ja heikentävät generaattoritehoa. Meriveden lämpötilan heikentävä vaikutus oli 4,5 MW/°C ja lauhduttimen paineen 2,5 MW/mbar, kun turbiinijohtoinen tehonsäätö oli poissuljettu laskennasta. Toisen välitulistimen mittaustiedosta laskettu asteisuus poikkesi merkittävästi simulointimallilla lasketuista arvoista. Tämä viittaa välitulistimen puutteelliseen toimintaan. Sille voi analyysin perusteella olla selityksenä myös havaitut ongelmat välitulistinta edeltävässä kosteudenerottimessa.

Analyysimenetelmät osoittivat potentiaalinsa suorituskykyanalyyseissä, mutta laitostyö tulee tarkentaa vielä erityisesti turbiinimallin osalta ennen menetelmien tuotannollista käyttöä. GRS-menetelmän jatkokehityksen kannalta olisi mielenkiintoista tarkastella regressioanalyysin mahdollisuutta osana herkkyystarkastelua.

Opinnäyte on hyväksytty Tampereen yliopiston Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunnassa 10.4.2024.

### Kirjoittaja



**DI Aaro Antin**

Nuorempi laitosturvallisuusinsinööri  
Teollisuuden Voima Oyj  
aaro.antin@tvo.fi

# Ydinvoiman kevät

”**VOI ELÄMÄN KEVÄTTÄ!**” sanotaan, kun puhutaan nuoren ikään kuuluvista hairahtuksista. Uudet ydinvoimalaitoshankkeet ja niiden tekijät ovat elämänsä keväessä. Into on kova ja hankkeet myös media-seksikkäitä. Näin vanhemmalle papalle muistuu mieleen ennen some-aikaa julkisuudessa vaikuttaneen hiustaiteilijan monimielinen huudahdus: ”Voi pojat, kun tietäisitte!” Muistelmissaan herra myönsi nuoruuden suuruudenhulluutensa, joka sai hänet tekemään monia kummallisia asioita. Hän ei onneksi maininnut ydinvoimaa.

Suomen ydinvoiman nuoruus oli 1980-luvulla. Murrosiän metkuina tehtiin varsin onnistuneet ydinvoimalaitosprojektit. Niistä voi tarjota oppina, että ydinvoimaa ja SMR:ää ei kannata tehdä Elon Muskin avaruusohjelman tapaan. Siinähan miljardien raketit räjähtelevät yötaivaalla. Uutuutta ihastellessa kannattaisi valvoa myös laatua. Toisaalta näytelmää ohjaava ylijohtaja on ilmeisesti pölyssä koko valveillaoloaikansa.

Maailman vastakkainasettelut näkyvät myös Suomessa. Vappupuheissa kohtasimme uuvanhan ilmiön: potaskan puhuminen on puheen onnistumisen kulmakiviä. Katsotaan vaikka sote-uudistusta. Uusien pahoinvointialueiden päättäjien sanallista ”potaskaa” tuetaan reilun palkan lisäksi ”demokratiarahalla”. Sillä rahoitetaan potaskan tuottoavustajien palkkoja ja puolueen mainoksia. Kuukausia parantavaa leikkausta odottanut horjuu hakemaan paikallislehden postilaatikosta ja saa etusivulta silmilleen puolueen vapputervehdyksen. Siinä menee vappusima helposti väärään kurkkuun.

**KARTALTA TAAS LÖYTYY** Valko-Venäjä, jonka johdon puheet antavat kuvan potaskan suurmaasta. Maa onkin maailman suurimpia potaskan eli kaliumkarbonaatin tuottajia. Siellä annetaan kuitenkin reilusti lahjuksia eikä demokratiaa.

Toinen totuutta kaihtava valtio Kiina kehittää sensuurin ja kansalaisten seurannan lisäksi myös sääntelyä. Maan verkkoyhtiöiden sääntely edellyttää, että hakukoneiden ja mainosten sisältösuosituksiin liittyvät algoritmit ovat julkisia ja käyttäjälle on varattava mahdollisuus ottaa ne pois päältä. Kiinan lain mukaan algoritmit eivät saa ”horjuttaa tai manipuloida yleistä mielipidettä, häiritä taloudellista tai sosiaalista järjestystä tai levittää väriä tietoja”.

”Järjestyksen horjutus” tarkoittaa, ettei puolueen valtaa saa arvostella, ja ”väriä tietojen

levitys” tarkoittaa, että puolue ja maan johto päättävät oikean tiedon. Kiinan valtiolla on valtava joukko palkattuja internet-trolleja. He levittävät somealustoilla ”oikeaa tietoa” eli puolueen agenda. Palkkio on 0,5 juania postausta kohti, mutta kohta heidät varmasti korvataan kaikkivoivalla tekoälyllä.

Verkon ihmeellisessä maailmassa on aina uusia, hassuja asioita. Tein turvallisuusluokiteltujen prosessorien keskinäiseen automaatiaviestien välitykseen liittyvän käännöksen englannista suomeksi ja sain seuraavan hienon käännöksen: ”Jokainen liikuntarajoitteisten henkilöiden alaosasto tuottaa tietoaaineistoa vastaavalle hallinnon alalle.” Ilmeisesti käännös algoritmi oli joutunut jonkin sote-viraston käsittelyyn.

IAEA:n ydintekniikan standardia SS6 haikiessani sain hakutulokseksi salamurhaajalle sopivan erikoisrynnäkkökiväärin. Mistähän Google päätteli minun tarvitsevan juuri sellaista? Tiedonkäsittely on oma elämän alueensa. Sanonta kuuluu: ”Jos se ei ole rikki, älä korjaa sitä!” Mutta ohjelmistoasiantuntijan mukaan jos se ei ole vielä rikki, siihen voi lisätä uusia ominaisuuksia.

**TAKAISIN YDINVOIMAAN.** Kerroksia, rakenteita ja paperinippuja lisätään koko ajan viranomaiselle menevään lupalajuuteen. Ydinvoimalaitosta ei saa edes poistaa käytöstä ilman laajoja viranomaislupia. Käytön turvallisuuden tarkastukset ymmärtää, mutta miksi käyttöä ei voi lopettaa voimassa olevilla viranomaisluvilla ja riskiarvioilla. Riskin luulisi poistuvan, kun uraani viedään pois laitokselta.

Kohta lisätään myös käytöstä poistamisen julkinen kuuleminen. Siinä arvioidaan purkamisen vaikutuksia alueen ympäristöön. Voi vaikka päivitellä sitä, kuinka alue muuttuu ja palvelut heikkenevät, kun ydinvoimalaitos ei maksa veroja alueelle.

Myös käyttötoimintaan lisätään porukkaa, jotka tekevät päältä katsomista, mutta eivät kanna mitään vastuuta. Tulee mieleen tutun projektipäällikön toteamus, kun hänen projektinsa tarkastukseen oli varattu paljon resursseja: tarkastusporukkaa ja konsultteja. Kokenut mies totesi: ”Tarkastukseen käytetään työtunteja kaksi kertaa niin paljon kuin tekemiseen. Olisikohan tulos ollut parempi, jos olisi saanut edes puolet tarkastusresursseista itse tekemiseen?”

Keväällä lehdissä oli Lappeenrannan professorin keskustelunavaus uudesta ydinvoimasta. Hän totesi, että perusvoimana ajettavaa lisäydinvoimaa ei enää mahdu Suomen sähköverkkoon. Myös ydinvoiman taloudellisuus on kyseenalainen korkeiden rakentamiskustannuksien vuoksi, vaikka perusvoimana ajaminen onnistuisi. Hänen mukaansa suunniteltu ydinkaukolämmön tekeminen talven huippuaikeaan vain vaikeuttaisi kesän minimikulutuksen

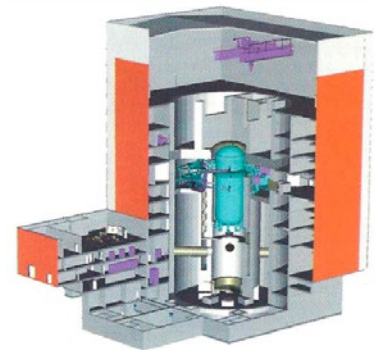


hallintaa. Osittain kustannusongelma olisi ratkaistavissa lyhentämällä ydinvoiman lupa- ja rakennusprosessia. Keinoja sen tekemiseen ei artikkeli eikä asiantuntija tarjonnut.

**TOINEN HUVITTAVA** keskustelunaihe on Olkiluoto 3:n järjestelmäsuoja ja sen maksaja. Keskustelijoilta tuntuu unohtuvan se, että aikanaan rakentamiseen saatiin lupa 20 vuoden poliittisen sodan ja useiden kieltopäätösten jälkeen. Laitoksesta tuli iso ja prototyyppi, koska poliittiset reunaehdot oli lukittu. Lupia annettiin vain yksi, oli valittava heti paras tarjotuista ja lisäsuunnitteluun ei annettu aikaa. Tuolloin myös järjestelmäsuoja sovittiin asioita, joita yksikön käyttöluovapaiheessa ei haluttu muistaa. Nyt aikanaan sovittua yritetään julkisuuspelillä kumota. Asia jatkuu vielä pitkään leivättömän pöydän ääressä.

Tiesittekö, että optimistin lasi on puolityysi, pessimistin puolityhjä, ja perusinsinöörin mielestä lasi on kaksi kertaa niin iso kuin tarvitaan. Ydininsinöörin mielestä lasia ei voi edes käyttää, koska siinä ei ole suunnitteluperusteiden mukaista vesimäärää.

## Yrjö Ydin



A 1500 MWe evolutionary design  
Cost competitive and short construction time  
Based on well proven Atom BWR design  
Enhanced safety level to meet new requirements  
BWR 90+ The next NPP generation.

**BWR 90+ -laitostyyppiä ei Olkiluoto 3 -hankkeeseen tarjottu eikä koskaan rakennettu.**

**Palautusosoite:**

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

**Osoitteenmuutokset:**

sihteeri@ats-fns.fi



---

KANNATUSJÄSENET

---

**FinNuclear ry**

**Pohjoismainen  
Ydinvakuutuspooli**

**Teknologian  
tutkimuskeskus VTT Oy**

**Fortum Power  
and Heat Oy**

**Pohjolan Voima Oyj**

**Teollisuuden Voima Oyj**

**Konecranes Oyj**

**Posiva Oy**

**TVO Nuclear Services Oy**

**Platom Oy**

**Steady Energy Oy**

**Westinghouse**

**Sweco Finland Oy**