

# ATS

## YDINTEKNIikka

1|2021

Vol. 50

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

### **Uraani kierrätykseen**

FiR 1 -tutkimusreaktorin käytetty polttoaine vietiin jatkokäyttöön USA:han, käytöstäpoisto alkaa edistyä.

### **Ruotsin YVL-ohjeiden päivitys käynnissä**

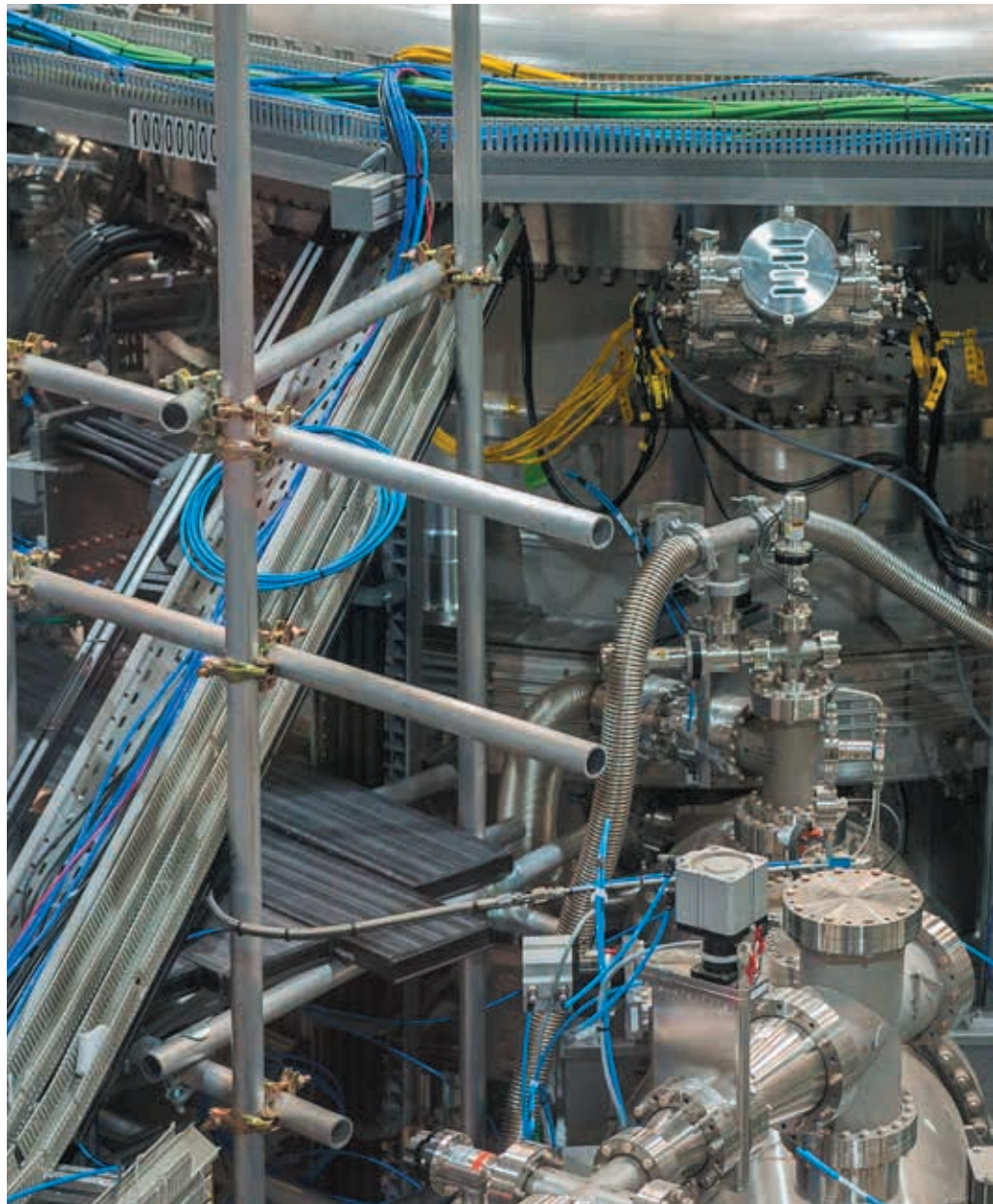
SSM kirjoittaa kolmitasoiset ydinlaitosohjeet, kymmenvuotisen projektin loppusuora hämöttämässä.

### **Viro valmistautuu ydinaikaan**

Ydinvoima ratkaisee Virossa uhkaavan sähköpulan, verkon stabiilisuuden ja CO<sub>2</sub>-päästörajoitukset.

### **Fuusioreaktoreita rakennetaan**

Kilpailevia fuusiokonsepteja on rakenteilla ja suunnitteilla täyttämään tietämyksen aukkoja.



## Julkaisija / Publisher

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

## Johtokunta / Board

### Puheenjohtaja / President

TkT Markus Airila  
puheenjohtaja@ats-fns.fi

### Varapuheenjohtaja / Vice President

DI Lauri Rintala  
lauri.rintala@tvo.fi

### Sihteeri / Secretary General

FM Jussi Peltonen  
sihteeri@ats-fns.fi

### Rahastonhoitaja / Treasurer

FM Maria Lindholm  
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

### Jäsenet / Board Members

SK Tuomo Huttunen  
tuomo.huttunen@fennovoima.fi

MSc Ana Jambrina  
ana.jambrina@lut.fi

DI Olli Nevander  
olli.nevander@rosatom.fi

DI Simo Saarinen  
simo.saarinen@iki.fi

## Toimihenkilöt / Functionaries

### ATS Young Generation

DI Pekka Pihlanko  
pekka.pihlanko@platom.fi

### Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

DI Henri Ormus  
henri.ormus@fennovoima.fi

### Women in Nuclear Finland

FT Eveliina Muuri  
eveliina.muuri@posiva.fi

### www.vastaava / Webmaster

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

### ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkL Eero Patrakka  
eero.patrakka@kolumbus.fi

## Toimitus / Editors

### Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

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

### Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

TkT Henri Loukusa  
henri.loukusa@gmail.com

### Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

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

### Ulkoasu ja taitto / Layout

Katariina Korhonen  
Creatus  
katariina@creatus.fi

### Toimitus / Editorial Staff

FM Sophie Haapalehto  
sophie.haapalehto@posiva.fi

DI Klaus Kilpi  
klaus.kilpi@gmail.com

DI Anna Korpinen  
anna.korpinen@vtt.fi

FT Antti Rätty  
antti.ratty@vtt.fi

FT Mervi Söderlund  
mervi.soderlund@fennovoima.fi

## Toimituksen yhteystiedot

### ATS Ydintekniikka

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

### Painopaikka

Hämeen Kirjapaino Oy, Espoo

ISSN-0356-0473

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

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

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

# Aihetta juhlaan: ATS Ydintekniikan 50. vuosikerta



**K**UTEN TÄMÄN LEHDEN KANNESTAKIN näkyy, ATS Ydintekniikalla on menossa 50. ilmestymisvuosi. Seuralla on puolestaan 55. toimintavuosi, joten perinteisen yhden käden sormimäärällä jaollisen juhluvuoden viettoon voi saada lisäriemua lehden tasakymmenistä. Juhlimisen muodot ovat tietenkin kiinni pandemiatilanteen kehityksestä: saadaanko tilanne kuriin rokotuksilla vai ehtikö virus mutatoitua rokotteilta karkuun? Vaikka pessimismi ei pety, yritetään silti olla optimisteja.

ATS:n silloinen johtokunta päätti seuran kuudentena toimintavuonna 1972 perustaa lehden, joka aluksi kulki nimellä ATS Tiedotuslehti. Lehden alkuperäisenä ajatuksena oli palvella seuran tiedonjakamistehtävää julkaisemalla erityisesti seuran kokousten esitelmiä kirjallisessa muodossa. Ensimmäinen päätoimittaja arveli ”mutta mahdollisesti myös muu-

ta aineistoa” ja sekin optio on vuosien varrella toteutunut. Lehden nimi vaihdettiin ATS Ydintekniikaksi vuonna 1975 ja siinä on pysytty.

Vuonna 2016 jäsenistölle jaettiin ATS:n 50-vuotishistoriikki, jossa on oma lukunsa seuran lehdestä. Luvussa on ansiokkaasti kuvattu toimintaympäristön kehittymistä ja referoitu lehden sisällön helmiä vuosikymmenestä toiseen. Tehtävässä hyödynnettiin lehtiarkistoa (<https://ats-fns.fi/fi/ats-ydintekniikka/lehdet>), joka saatiin digitoitua historiikkiprojektin yhteydessä – tärkeä kulttuuriteko sekin.

Historiikin mukaisesti olen lehden 14. päätoimittaja. Yhdessä aikaisempien päätoimittajien kanssa suunnittelemme lehdelle omistetun jäsentilaisuuden ohjelmaa. Tavoitteena on saada pidettyä tilaisuus ihan läsnäoloiluna juhannuksen alusviikolla.

Juhlavuonna on lisäksi tarkoitus julkaista arkiston helmiä aikaisemmilta vuosikymmeniltä. Kun lehtiä alkaa olla tehtynä parisataa ja niissä yli 2500 juttua, niin runsaudenpula on aikamoinen. Kaikkia helmiä emme takuulla saa kaivettua esiin, mutta tarkoitus onkin aktiivoida lukijoita arkistoiden kaiveluun ihan omin päin. Kaiveltava helpottava digikuokka eli vuodet 1972–2020 kattava sisällysluettelo jaetaan seuran jäsenille juhluvuoden aikana.

Hyvää juhluvuotta kaikille tasapuolisesti!

**Jarmo Ala-Heikkilä**

Vastaava päätoimittaja

## SISÄLTÖ

### Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Aihetta juhlaan:  
ATS Ydintekniikan 50. vuosikerta ..... 3

Pääkirjoitus:  
”Game changerina” monellakin tapaa ..... 4

Editorial:  
”Game changer” in various ways ..... 5

Pakina: Kas kuukkelia, se se osaa  
ja uskaltaa ihmisen kanssa!  
– Ajatushautojan muistivihkomerkintä  
aihepiirissä turvallisuus ..... 38

### Arkiston helmi

Ydinvoimalaitos asutuskeskuksen  
läheisyydessä ..... 9

### Tapahtumat

Syysseminaari 2020 – perinteinen  
tapahtuma uudella alustalla ..... 6

IAEA:n pääjohtaja Grossi  
vieraili Oikiluodossa ..... 8

### Ajankohtaista

Ekosysteemi kokoaa atomeja ..... 14

Översyn av föreskrifter för svenska  
kärntekniska anläggningar ..... 17

Estonia going nuclear! ..... 22

FiR 1:n käytetty polttoaine  
jatkokäyttöön USA:ssa ..... 26

Fortumin, TVO:n ja Fennovoiman  
kelpoistusyhteistyöhanke etenee  
kohti käyttöönottoa ..... 28

### Tiede ja tekniikka

Kilpajuoksu kohti fuusiotuottoa  
käynnistynyt – kilpailijoilla  
eri matkat ja tavoiteajat ..... 31  
*Taina Kurki-Suonio*

Diplomityö:  
Seismisen tapahtuman ohjeiston  
kehittäminen Loviisan voimalaitokselle ..... 37  
*Petra Seppälä*

# ”Game changerina” monellakin tapaa

**V**IIME VUONNA TÄHÄN AIKAAN saimme kaikki ensimmäisiä vakavampia viitteitä maailmaa ravistuttavasta covid-19-viruksesta. Samaan aikaan valmistauduimme Olkiluodossa jo kiivaasti tuleviin vuosihuoltoihin ja niissä toteutettaviin töihin, joihin tarvitsimme vahvistuksia myös verkostostamme maailmalta. Kapselointilaitoksen seinät olivat nousemassa pystyyn Posivan loppusijoitustoiminnan aloittamiseen tähtäävässä EKA-projektissa ja OL3-projektissa valmistauduttiin polttoaineen latauslupahakemuksen jättämiseen viranomaiselle. Niinhän sitä sanotaan, että kriisit vain vahvistavat, mutta enpä olisi vielä vuosi sitten uskonut mitä tarinaamme Olkiluodossa oli kirjoitettu.

Ydinalan ammattilaisuutta on mitattu kuluneen vuoden aikana erityisesti kriisi- ja poikkeustilanteissa. Vuosi sitten maaliskuussa koronaohjeet ja -järjestelyt valloittivat saaremme jokaisen kolkan vieden monet toimitoissa työskentelevät etätöiden äärelle. Käytön ja kunnossapidon järjestelyihin panostettiin muun muassa vaatimalla suojamaskien käyttöä, tekemällä kulkualuerajoituksia ja sijoittamalla saman alan ammattilaisia eri rakennuksiin.

Olkiluodon ydinvoimalaitoksen vuoden 2020 vuosihuollot alkoivat OL2:n polttoaineenvaihtoseisokilla 10. toukokuuta ja OL1:n huoltoseisokki saatiin päätökseen 8. kesäkuuta. Vuosihuoltojen pituutta lyhennettiin 25:stä 14 vuorokautteen. Koronaviruksen leviämisen ehkäisemiseksi toteutettiin lukuisia erityistoimenpiteitä ja -järjestelyitä testaamisesta omaehtoiisiin karanteeneihin. Vuosihuolloissa toteutettiin lopulta kaikki turvallisuudelle ja käytettävyydelle tärkeät muutostyöt sekä vikakorjaukset. Vältimme myös koronavirustartunnoilta tai altistumisilta.

Keväällä 2020 jätimme OL3:n polttoaineen latauslupahakemuksen viranomaiselle, mutta jäljellä olevat testaukset ja työt sekä tekniset haasteet ovat vieneet aikaa. Avaimet käteen-toimituksella tilattu laitosyksikkö on siirtynyt asteittain käyttöömme näiden kuukausien aikana. Olemme oppineet uudesta hienosta laitosyksiköstämme paljon tekemällä työtä laitoistomittajan kanssa yhdessä ja osallistu-

malla tekniseen selvitystyöhön aktiivisesti. Polttoaineen lataus on edessämme maaliskuussa ja olemme enemmän kuin valmiit ottamaan laitosyksikköä käyttöömme. Säännöllinen sähköntuotanto alkaa helmikuussa 2022. Tämä merkitsee myös Suomen suurimman ilmastoteon täyttymistä ja tuotantomme kasvamista noin 30 %:n osuuteen Suomen sähköntarpeesta.

Erityiset tilanteet eivät kuitenkaan ottaneet loppuakseen. Joulukuussa OL2-laitosyksiköllä tapahtui käyttöhäiriö, kun laitosyksikkö irtosi yllättäen verkosta ja turvajärjestelmät laukesivat suojarakennuksen eristystä myöten. Tämän seurauksena laitosyksikölle julistettiin laitoshäätä ja valmiusorganisaatio kutsuttiin koolle. Häiriö todentui nopeasti laitoshäätitalaa lievemmäksi ja laitosyksikkö ajettiin varautumistilan kautta kylmäseisokkiin. Tilanne aiheutui kuuman veden kulkeutumisesta reaktorin puhdistusjärjestelmän suodattimille, jolloin päähöyrylinjoissa kulkevan höyryn aktiivisuustasot nousivat hetkellisesti 3-4-kertaisiksi. Tapahtuma luokiteltiin INES-asteikolla luokkaan 0, eli sillä ei ollut merkitystä ydin- tai säteilyturvallisuuden kannalta.

Toimin itse tilanteessa valmiuspäällikkönä, ja voin positiivisena huomiona todeta, että tilanteeseen reagoitiin kaikilla valmiustoiminnan osa-alueilla sen vaatimalla vakavuudella. Henkilöstömme toimi tilanteessa vastuullisesti ja turvallisuusohjeiden mukaisesti. Tilanne oli myös monella tapaa opettava ja otamme siitä kaiken hyödyn irti erityistilanteisiin varautumisessa.

Me TVO:lla haluamme olla arvostettuja ydinalan edelläkävijöitä, mihin liittyy kiinteästi koko ydinvoiman elinkaaren hallinta. Meille on kertynyt vuosikymmenien aikana mittava osaaminen ydinvoimalaitoksen käytöstä ja OL3-projektin myötä myös uuden laitosyksikön käyttöönotosta. Meillä on ratkaisu myös käytetyn polttoaineen loppusijoitukseen.



Loppusijoituksen eteneminen toteutusvaiheeseen toimii IAEA:n pääjohtaja Rafael Grossin mukaan ”Game Changerina” koko ydinvoiman elinkaaren kestävyttä arvioitaessa.

Kuluneen vuoden kokemukset plakkarisä lisäisin tuohon vielä sen, että koko kulunut vuosi toimi meidän olkiluotolaisten game changerina vahvistaen ydinalan ammattilaisuuttamme erilaisissa erityistilanteissa. Eikä tätä kaikkea tehdä yksin, vaan yhdessä teidän ja monen ydinalan toimijan kanssa. Kriisit opettivat siis myös sen, kuinka tärkeitä kaikki verkostot ovatkaan terveydenhuollosta yhteistyökumppaneihin ja viranomaisiin. Ydinalalla on ainakin täältä Olkiluodon saarelta katsottuna hyvä tulevaisuus!

## DI Marjo Mustonen

Sähköntuotannon johtaja  
Teollisuuden Voima Oyj  
marjo.mustonen@tvo.fi

# “Game changer” in various ways

**T**HIS TIME LAST YEAR, we all received the first more serious indications of the world-shaking covid-19 virus. At the same time, we were already preparing vigorously for the annual maintenance and the work to be carried out in Olkiluoto, for which we also needed reinforcements from our network around the world. The walls of the encapsulation plant were erected in the EKA project, aimed at starting Posiva's final disposal operations, and the OL3 project was preparing to submit an application for a fuel loading permit to the regulator. It is said that crises only make you stronger, but I would not have believed a year ago what had been written in our story in Olkiluoto.

Nuclear professionalism has been under scrutiny during the past year, especially in crisis and emergency situations. In March 2020, the corona instructions and arrangements conquered every corner of our island, taking many office workers to telecommuting. Efforts were made to arrange the use and maintenance, among other things, by requiring the use of protective masks, issuing access restrictions and seating professionals in the same field in different buildings.

The 2020 annual maintenance of the Olkiluoto nuclear power plant began with the refueling outage at OL2 on 10 May and the maintenance outage at OL1 was completed on 8 June. The length of annual maintenance was shortened from 25 to 14 days. Numerous specific measures and arrangements were put in place, from testing to voluntary quarantine, to prevent the corona virus from spreading. During the annual maintenance, all modifications and repairs important for safety and usability were finally accomplished. We also avoided corona virus infections or exposures.

In the spring of 2020, we filed an OL3 fuel loading permit application with the regulator, but the remaining testing and tasks, as well as technical challenges, have taken time. The plant unit ordered as a turnkey delivery has gradually been transferred to our responsibility during these months. We have learned a lot from our new great plant unit by working together with the plant supplier and actively

participating in the technical inspection work. Fuel loading is ahead of us in March and we are more than ready to take the plant unit into operation. Regular electricity production will commence in February 2022. This will also mean the completion of Finland's largest climate action and an increase in our production to approximately 30% of the electricity demand in Finland.

However, special situations did not end there. In December, the OL2 plant unit malfunctioned when the plant unit unexpectedly disconnected from the grid and the security systems tripped down to the containment insulation. As a result, a plant emergency was declared for the plant unit and the emergency preparedness organization convened. The disturbance quickly proved to be less severe than plant emergency, and the plant unit was driven to a cold shutdown. The situation was caused by the passage of hot water to the filters of the reactor purification system, which momentarily increased the activity levels of the steam passing through the main steam lines by a factor of 3-4. The incident was classified as category 0 on the INES scale, i.e., it was not relevant for nuclear or radiation safety.

I acted as an emergency manager during the situation, and I can say that the situation was responded to in all areas of preparedness with full seriousness. Our personnel acted responsibly in the situation and in accordance with safety instructions. The situation was also instructive in many ways and we take full advantage of it to be prepared for special situations in the future.

At TVO, we want to be respected pioneers in the nuclear industry, which is closely linked to the management of the entire life cycle of nuclear power. Over decades, we have accumulated extensive expertise in the operation of a nuclear power plant and, with the OL3 project, also in the commissioning of a new plant unit. We also have a solution for the final disposal of spent fuel. The progress of the final disposal to the implementation phase, according to IAEA Director General Rafael Grossi, acts as the "Game Changer" when assessing

the sustainability of the entire life cycle of nuclear power.

After the experiences of the past year, I would state that the whole of the past year served as a game changer for us at Olkiluoto, strengthening our nuclear professionalism in various special situations. All of this cannot be done alone, but together with you and many nuclear players. The crises also taught us how important all networks are, from healthcare to partners and regulators. At least looking from the island of Olkiluoto, the nuclear industry has a great future!

## **M.Sc.(Tech.) Marjo Mustonen**

Senior Vice President Electricity Production  
Teollisuuden Voima Oyj  
marjo.mustonen@tvo.fi

# Syysseminaari 2020 – perinteinen tapahtuma uudella alustalla

Atomiteknillisen seuran perinteinen syysseminaari järjestettiin marraskuussa 2020 olosuhteiden pakosta pelkäämään virtuaalisesti. Tilaisuuden ohjelmassa oli totuttuun tapaan voimayhtiöiden kuulumiset ja ajankohtaisia katsauksia muiden alan toimijoiden tekemisiin.

**Teksti:** Lauri Rintala



**DI Lauri Rintala**  
Reaktori-insinööri  
TVO Oyj  
lauri.rintala@tvo.fi

**KOKO MAAILMAA KURITTAVA** Covid-19-pandemia on pakottanut Atomiteknillisen seurankin hakemaan uusia tapoja oman toimintansa järjestämiseen alkujähmeyden jälkeen, kun oli selvää ettei pandemiasta ja sen aiheuttamista rajoituksista aivan hetkessä päästä eroon. Syyskuussa järjestetyssä jäsentilaisuudessa harjoiteltiin etäyhteyden käyttöä, minkä jälkeen jokavuotinen syysseminaari järjestettiin pelkäämään virtuaalisesti Zoom-alustalla.

Tapahtuma saatiin järjestettyä varsin sujuvasti, esitykset saatiin vietyä läpi ja yleisön kysymyksiinkin saatiin vastaukset. Osanotto tapahtumaan oli huomattavan aktiivista, vaikka tapahtumasta puuttuikin nyt monien odottama osanottajien keskinäinen vuorovaikutus ja illallinen: koko tapahtuman aikana kirjattiin 162 osallistujaa, joskaan kaikki eivät olleet koko aikaa linjoilla.

### 31. Ydinturvallisuusseminaari

Syysseminaari järjestettiin myös tällä kertaa samana päivänä viranomaisten järjestämän ydinturvallisuusseminaarin kanssa. Yleensä aamupäivän ydinturvallisuusseminaari on tarkoitettu vain pienemmälle ryhmälle toimijoita, mutta nyt kun tämäkin tilaisuus järjestettiin kokonaan etänä, STUK tarjosi kaikille ATS:n jäsenille mahdollisuuden osallistua seminaa-

riin ja jäsenistö tarttui tähän tilaisuuteen varsin aktiivisesti.

Ydinturvallisuusseminaarissa kuultiin esityksiä liittyen meneillään olevaan pandemiaan ulkoministeriön edustajan ja viestinnän tutkijan näkökulmasta, viranomaisten ja muiden toimijoiden yhteistoiminnan haasteista yleisellä tasolla ja ydinenergialain uudistustarpeista. Tilaisuuden viimeisenä esityksenä kuultiin Risto Isomäen esitys koskien tuntemattomiin uhkiin varautumista.

Isomäki on yleisesti tunnettu ennemminkin ydinvoimaa kritisoivista kannanotoistaan esimerkiksi Sarasvatin hiekkaa -teokseensa, mutta hän lähti esittämään omaa näkökulmaansa epäilemättä haastavalle yleisölle avoimin mielin. Esityksessä nostettiin esiin uhkia, jotka alan ulkopuolella voivat tuntua tuntemattomilta, mutta ainakaan kirjoittajan korvaan ei tarttunut mitään merkittävää asiaa, jota ei ydinvoima-alalla jo olisi huomioitu laitosuunnittelussa.

Tilaisuuden lopuksi käytiin vielä paneelikeskustelu, jossa keskityttiin pandemian vaikutuksiin ja siitä saatuihin oppeihin. Muiden käydessä läpi asioita ikään kuin ne olisivat jo lähes takana Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin osanottaja huomautti, että heillä tilanne on yhä akuutisti päällä. Tätä kirjoittaessa voi todeta marraskuisen optimismin pandemian kestosta hieman karisseen matkan varrella.



*Pekka Jauho -palkinto ydin-  
tekniikan alalla tehdystä mer-  
kittävästä tiedonjulkistustyöstä  
myönnettiin Rauli Partaselle  
(kuva: Raisa Ranta).*

### **Pekka Jauho -palkinto**

Syysseminaarin ohjelman aloitti seuran puheenjohtaja Tuomas Rantala jakamalla seuran tiedonjulkistamis-palkinnon, Pekka Jauho -palkinnon Rauli Partaselle. Johtokunta toteaa palkinnon perusteluissaan seuraavasti: Energia-asiantuntija ja palkittu tietokirjailija Rauli Partanen on tehnyt pitkäjänteistä työtä sekä ydinenergian kansantajuistamiseksi että ydinenergian uusien avausten viestimiseksi, ja ollut merkittävä viestijä ilmastonmuutoksen vastaisessa taistelussa sekä kotimaassa että maailmalla. Hän on julkaissut laajasti kirjoittamalla energiapoliittisia kirjoja (mm. Uhkapeli ilmastolla, Musta hevonen ja Energian aika).

### **Alan ajankohtaisia kuulumisia**

Syysseminaarin esitykset avasi Työ- ja elinkeinoministeriön teollisuusneuvos Liisa Heikinheimo antamalla katsauksen ministeriön aktiviteetteihin. Tällä hetkellä työn alla on useampi lakimuutoshanke, joista näkyvin koskee alan kahden ison tutkimusohjelman, SAFIRin ja KYTin, yhdistämistä. Ydinenergiainsäädännön arvioinnin lopputuloksena on myös todettu, että kokonaisuudistus on tarpeen, jotta varmistetaan että se on perustuslain mukainen ja ymmärrettävä.

Tämä uudistustyö tullaan tekemään lähi-vuosina, ja aikataulu tarkentuu vuoden 2021

aikana. Muita Heikinheimon esille nostamia asioita on tulevien vuosien IAEA:n kansalliset arviot, joiden valmistelutöitä tehdään jo nyt, sekä kansallisen ydinjätehuollon ohjelman päivittäminen vuoteen 2022 mennessä.

Voimayhtiöiden esiintyjät olivat Satu Katajala, Loviisan voimalaitoksen johtaja, Jarmo Tanhua, TVO:n toimitusjohtaja sekä Vesa Ruuska, Fennovoiman rakentamisen vastuullinen johtaja. Katajala ja Tanhua toivat esityksissään esiin näkökulmia pandemiaan, miten laitokset sekä organisaatio ja henkilöstö pidetään kunnossa kaiken ikää. Olkiluodossa uutena asiana on tarkoitus aloittaa erittäin matala-aktiivisen jätteen pinaloppusijoitus vaaditun luolakapasiteetin säästämiseksi.

Fennovoiman Ruuska kävi läpi projektin tilaa ja vertasi tilannetta edelliseen pitämäänsä syysseminaariesitykseen vuodelta 2015. Vaikka ulospäin Fennovoima on yhä samassa vaiheessa ja rakentamislupahakuprosessi on kesken, niin merkittävää kehittymistä on tapahtunut sekä laitossuunnittelussa että Fennovoimassa itsessään.

### **Kansainvälisyyttä ja tutkimusta**

Euroopan ydinvoima-alan seurojen kattojärjestö European Nuclear Society otti myös osaa syysseminaariin, kun järjestön puheenjohtaja Emilio Minguez Torres kävi läpi ENS:n aktiviteetteja. ENS:n tavoitteena on edistää ydinvoima-alan tieteellistä tutkimusta ja ydinenergian rauhanomaisia käyttökohteita. Merkittävä osa ENS:n toimintaa on alan konferenssien järjestäminen, mikä on ollut nyt pandemian takia jäissä.

Lappeenrannan teknillisen yliopiston apulaisprofessori Heikki Suikkanen piti esityksen korkean lämpötilan reaktorikonsepteista. Korkeita lämpötiloja ydinreaktorissa voidaan saavuttaa korvaamalla jäädytteenä toimiva vesi jollain muulla, esimerkiksi sulalla metallilla, suolalla, tai kaasulla. Suikkasen esitys rajoittui erilaisiin kaasujäädytteisiin reaktorei-

hin, jotka ovat nykyään merkittävin vaihtoehto tavoitella korkeita lämpötiloja.

Korkean lämpötilan reaktorien kehityksen alkuvaiheessa lämpötilaa rajoitti mm. grafiitin korroosio, joka esti lämpötilan korottamisen tavoitetasolle. Nykyisten uusien reaktorikonseptien idea sitoa polttoaine grafiittipalloihin kovien karbidikuorutteisten jyvien sisään kehitettiin sekin jo 1970-luvulla. Nykyään kaasujäädytteisiä korkean lämpötilan reaktorikonsepteja on kehitteillä eri puolilla maailma. Kiina on etunenässä toteuttamassa näitä laitoksia, ja ensimmäinen koelaitos on käynnistymässä mahdollisesti jo ensi vuonna. Myös Japani ja Puola ovat kiinnostuneita tällaisten reaktoreiden käyttöönotosta.

Silja Häkkinen VTT:ltä piti syysseminaarin lopuksi esityksen pienreaktoreista: mitä ne ovat ja miksi niistä ollaan kiinnostuneita. Pienreaktoreilla tarkoitetaan IAEA:n määritelmän mukaan ydinreaktoreita, joiden sähköteho on alle 300 MW. Sähkön lisäksi näillä pienreaktoreilla voitaisiin tuottaa myös lämpöä tai keskittyä jopa pelkästään lämmöntuotantoon. Suomessa sähköntuotanto on muuten hyvin pitkälle vähäpäästöistä, mutta kaukolämmön tuotannossa olisi varaa parantaa vaikkapa juuri pienreaktorien avulla.

Pienreaktorien luvituksen kaavaillaan olevan nopeampaa ja siten halvempaa kuin nykyisten isojen laitosten. Pieni lämpöteho mahdollistaa sen, että reaktorin turvallisuus perustuu pitkälti passiivisiin järjestelmiin. Tunnistettuja haasteita pienreaktoreiden käytössä on niiden edellyttämä sijainti lähellä asutuskeskuksia lämmöntuotantoa varten, ulkoisilta uhilta suojautuminen, kuten esimerkiksi maan alle sijoitetun laitoksen tulviminen, tai mahdollisesti kaukokäyttöisen laitoksen järjestelmien tietoturvallisuus.

Häkkinen kävi läpi erilaisia maailmalla kehityksen kohteena olevia konsepteja, joista suomalaisittain mielenkiintoisimmat löytyivät listan lopusta: Lappeenrannassa kehitteillä oleva LUTHER ja VTT:n oma pienreaktorikonsepti. Vaikka ne eivät aivan koelaitoksen rakentamisaikavaiheessa vielä olekaan, tavoitteena molemmilla on saada konkreettinen malli kaukolämmöntuotantoon soveltuvasta pienreaktorista.

# IAEA:n pääjohtaja Grossi vieraili Olkiluodossa

Kansainvälisen atomienergiajärjestön (IAEA:n) pääjohtaja Rafael Grossi vieraili Olkiluodossa 26.11.2020. Harvinainen korona-aikana erityisjärjestelyin toteutettu vierailu onnistui erinomaisesti. Posivan urauurtava työ käytetyn ydinjätteen maailman ensimmäisenä loppusijoittajana vaatii uusia ratkaisuja, joista on sovittava yhdessä IAEA:n kanssa.

**Teksti:** Pasi Tuohimaa **Kuva:** Tapani Karjanlahti

**PÄÄJOHTAJA RAFAEL GROSSI PITÄÄ** Suomessa rakennettavaa ydinjätteen loppusijoituspaikkaa kansainvälisesti merkittävänä hankkeena. Hänen mukaansa kysymys ydinjätteestä on maailmanlaajuisesti tärkeimpiä haasteita ydinenergian kestävä käytön kannalta. "Pidän Olkiluodon loppusijoituslaitosta käänteentekevästä Game Changerinä siinä, miten kansainvälinen yhteisö käsittelee ydinvoiman kestävyttä", Grossi kommentoi loppusijoituslaitoksen vierailullaan.

Posiva aloitti ONKALO<sup>®</sup>n rakentamisen vuonna 2004. Käytetyn ja jäähdytetyn polttoaineen loppusijoitus on

määrä aloittaa 2020-luvun puolivälissä. Posiva rakentaa tällä hetkellä kapselointilaitosta sekä loppusijoituslaitosta Olkiluotoon.

Pääjohtaja Grossi nimitettiin tehtäväänsä noin vuosi sitten. Hän vieraili Suomessa elinkeinoministeri Mika Lintilän ja ulkoministeri Pekka Haaviston kutumana. Olkiluodon lisäksi Grossilla oli useita korkean tason tapauksia Helsingissä. Olkiluodon vierailua edeltävänä päivänä hän tapasi virtuaalisesti muun muassa tasavallan presidentti Sauli Niinistön.

"Pääjohtaja Grossi oli erittäin kiinnostunut Olkiluodosta. Hän ha-

lusi perehtyä tarkkaan erityisesti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen. IAEA:n ja Euratomin tehtäviin kuuluu ydinmateriaalien valvonnan järjestäminen ydinlaitoksilla. ONKALO-projektissa loppusijoituksen valvontamenetelmät ratkaistaan nyt ensimmäistä kertaa. Posivalla tehdään siis tässäkin asiassa ainutlaatuista pioneerityötä", teollisuusneuvos Liisa Heikinheimo työ- ja elinkeinoministeriöstä (TEM) kertoo.

"IAEA on TVO:lle ja Posivalle tärkeä järjestö. IAEA päivittää jatkuvasti ydinturvallisuutta koskevaa ohjeistusta, ja nämä vaikuttavat myös kansalliseen sääntelyyn. Myös ydinmateriaalivalvonnassa pitää tavoitella luotettavia, mutta myös kustannustehokkaita ratkaisuja. Järkevällä sääntelyllä on merkittävä vaikutus ydinvoiman kilpailukykyyn", johtaja Jaana Isotalo TVO:lta sanoo.

Pääjohtaja Grossin vierailun ohjelmaan kuuluivat käynnit ONKALOSSA ja Olkiluoto 3 -laitosyksiköllä.



**Pasi Tuohimaa**  
Viestintäpäällikkö  
Teollisuuden Voima Oy  
pasi.tuohimaa@tvo.fi





HELSINGIN KAUPUNGIN SÄHKÖLAITOS  
Ydintekniikan asiantuntija  
UY/Tekn. tri Olli J.A. Tiainen

ESITELMÄ SUOMEN ATOMI-  
TEKNILLISEN SEURAN  
KOKOUKSESSA 1973-01-25  
1973-01-23 1 (13)

YDINVOIMALAITOS ASUTUSKESKUKSEN LÄHEISYYDESSÄ

Tiivistelmä

Ydinvoimaan perustuva yhdistetty sähkön- ja kauko-  
lämmön hankinta rajoittaa ydinvoimalaitoksen sijoit-  
tamista kovin kauas kulutuskeskuksista. Nämä rajoi-  
tukset ovat osaksi kustannustekijöihin perustuvia.

Lähisijoitus asettaa ydinvoimalaitokselle suuret  
turvallisuuksivaatimukset, joita voidaan täyttää  
erilaisilla turvallisuuksia lisäävillä rakenteilla  
ja laitteilla.

# Ydinvoimalaitos asutuskeskuksen läheisyydessä

sijoitustapa on kallioonsijoittaminen.

1 Yleistä

Ydinvoimaan perustuva yhdistetty sähkön- ja kaukolämmön hankinta rajoittaa ydinvoimalaitoksen sijoittamista kovin kauas kulutuskeskuksista. Nämä rajoitukset ovat osaksi kustannustekijöihin perustuvia. Lähisijoitus asettaa ydinvoimalaitokselle suuret turvallisuusvaatimukset, joita voidaan täyttää erilaisilla turvallisuuksia lisäävillä rakenteilla ja laitteilla. Lupaava lähisijoitetun laitoksen sijoitustapa on kallioonsijoittaminen.

**Teksti:** Olli J. A. Tiainen

Oheinen artikkeli on julkaistu *ATS Tiedotuslehden* numerossa 1/1973 ja se perustuu *ATS:n* kokouksessa 25.1.1973 pidettyyn esitelmään. Kirjoittaja Olli J. A. Tiainen toimi seuran johtokunnassa 1974–1979, joista viimeiset kolme vuotta puheenjohtajana, minkä jälkeen hän oli *ATS:n* kansainvälisten asiain hoitaja ja *ENS:n* johtokunnan jäsen. Hän menehtyi huhtikuussa 1984. [*ATS Ydintekniikka* 2/1984]

**YDINVOIMAAN PERUSTUVA** yhdistetty sähkön ja kaukolämmön hankinta on pääkaupunkiseudun energiahuollos- ta tehtyjen tutkimusten perusteella taloudellinen perusenergian hankintatapa [1]. Tällainen hankinta edellyttää, ettei ydinlämmitysvoimalaitos sijaitse kovin kaukana energian kulutuspaikoista. Jotta tämän hetken energian- kulutusennusteiden mukainen energiantarve voidaan tyydyttää, on Suomen pääkaupunkiseudulle rakennettava kaksi ydinlämmitysvoimalaitosta, joista toinen sijaitisi Helsingin itäpuolella ja toinen länsipuolella. Itäiseen voimalaitokseen on suunniteltu kahta sähköteholtaan 600 MW yksikköä. Näistä ensimmäinen olisi kaupallisessa käytössä vuonna 1982 ja toinen 1984. Läntisen laitoksen kahden re-

aktorin olisi käynnistytävä 1990-luvun alku- puolella.

Liittyen yleiseen mielenkiintoon maanalaisesta kallioonsijoittamisesta ja pääkaupunkiseudun energiantuotannon lähisijoitusvaatimuksiin on parhaillaan työn alla kauppa- ja teollisuusministeriön ja pääkaupunkiseudun energiahuoltotoimikunnan puoliksi rahoittama kallioonsijoittamista käsittelevä tutkimusprojekti. Tämän lisäksi ollaan käynnistämässä yleisempää osittain lähisijoitusproblematiikkaa käsittelevää sijoitustutkimusta. Viimeksi mainitun tutkimuksen yhteydessä tutkitaan lähisijoituksen turvallisuutta, lähisijoituksen aiheuttamia lisäkustannuksia ja vertaillaan keskenään maanpäällistä sijoitusta, maanalaisesta kallioonsijoittamista sekä kuoppasijoitusta.

## Lähisijoituksen tarpeellisuus

Savukaasumäärät ja rikkidioksidipitoisuudet pienevät huomattavasti siirryttäessä sähkön ja kaukolämmön konventionaaliseen yhteistuotannosta ydinvoimalla tapahtuvaan tuotantoon [2]. Ydinvoiman käyttöä puoltaa myös ympäristön siisteys, kun voidaan rajoittaa konventionaalisen energiantuotannon osuutta siihen liittyvine kivihiilivarastoineen. Edelliset tekijät ovat tärkeitä ajateltaessa pääkaupunkiseudun viihtyisyyttä.

Tärkein tekijä energiantuotannon puolella, joka rajoittaa voimalaitoksen sijoittamista kauas asutuskeskuksista, on kaukolämmön siirtoon liittyvät kustannukset. Kaukolämmön siirtojohtojen rakentaminen Vuosaaresta Pasilaan vastaa noin 100 Mmk investointeja. Investoinnit ovat likipitään verrannolliset siirtoetäisyyksiin. Lämpöhäviöt kaukolämmön siirrossa eivät ole merkittävät, kun siirrettävät tehot ovat 500...1000 MW. Pysyttäydyttäessä kohtuullisissa ja konventionaalisen energiantuotannon kanssa kilpailukykyisissä kaukolämmön hinnoissa ei laitosta voida viedä kovin kauas kulutuskeskuksista. Sijoituspaikan valintaan vaikuttavat tehosiirron kustannukset, turvallisuusvaatimukset ja alueelliset tekijät. Ydinvoimalaitosten lisääntyvä rakenteellinen turvallisuus voi johtaa jopa siihen, että alueelliset tekijät voivat näytellä merkittävintä osuutta laitospaikkaa valittaessa.

Varsinaisia lähisijoitettuja ydinvoimalaitoksia on suunniteltu kaukolämpökäyttöön Tukholmassa, Malmössä ja Göteborgissa. Tämän lisäksi Ludwigshafeniin on suunniteltu ydinvoimalaitosta teollisuuden prosessilämmön tuottamiseen. Ruotsin suunnitelmat ovat tällä hetkellä ajoitettu 1...2 vuotta myöhäisempään ajankohtaan kuin Suomen pääkaupunkiseudulla.

## Asukasmääriä ydinvoimalaitosten ympäristössä

Arvioitaessa, milloin sijoituspaikkaa voidaan pitää lähisijoituksena, voidaan ympäristön asukasmääriä verrata muiden voimalaitosten ympärillä oleviin asukasmääriin. Jos suunnitellun laitoksen ympäristön asukasmäärät ovat selvästi yläpuolella muiden normaaleilla sijoituspaikoilla olevien laitosten, tulee eteen turvallisuustutkimusten syventäminen. Maissa, joissa asukastiheys on suuri, voi lähisijoitus helposti muodostua välttämättömäksi, kun taas tavallisessa lauhdekäytössä harvaan asutuissa maissa ei ole lähisijoitustarvetta.

Lähisijoitustarve esiintyy kuitenkin käytetäessä ydinvoimaa teollisuuden prosessilämmön tai asutustajamien kaukolämmön han-

kintaan. Kuva 1 osoittaa asukasmääriä 0...20 km säteellä joidenkin joko käytössä, rakenteilla tai suunnitteilla olevien ydinvoimalaitosten tapauksessa [3,4]. Kuvassa on Helsingin itäisen voimalaitoksen kahden eri vaihtoehdon ympäristön asukasmäärät (mahdollinen kolmas vaihtoehto on asukasmäärien puolesta suunnilleen samanlainen kuin kuvan A vaihtoehto). Havaitaan, että rakenteilla olevan Biblis-laitoksen paikka (KWU, PWR) muistuttaa läheisesti pääkaupunkiseudulle ajateltuja sijoituspaikkavaihtoehtoja.

Taulukossa 1 on vertailtu Barsebäck-laitoksen (ASEA, BWR) ympäristön asukasmääriä yhden Helsingin itäisen laitoksen paikkavaihtoehdon asukasmääriin. Havaitaan, että aina noin 20 km:iin asti Barsebäck-laitoksen ympärillä asutus on vähäistä. Tämän jälkeen asukasmäärät kasvavat voimakkaasti läheisten suurten asutustajamien (Kööpenhamina, Malmö, Lund, Landskrona) vaikutuksesta. Suunniteltuun Helsingin itäpuoliseen laitokseen verrattuna Ludwigshafeniin BASF:in suunnittelema ydinvoimalaitos on selvästi asutummalla alueella. Ludwigshafenin laitokseen (KWU, PWR) on suunniteltu erityisiä turvallisuuslaitteita ja -rakenteita lähisijoituksen vuoksi. Barsebäck-laitos on identtinen Oskarshamn II:n kanssa, joten ydinvoimalaitoksella ei ole erityisiä lähisijoituksen vaatimia turvallisuuslaitteita eikä -rakenteita.

## Lähisijoituksessa huomioonotettavia näkökohtia

Jos ydinvoimalaitos rakennetaan asutuskeskuksen läheisyyteen, täytyy ottaa huomioon joitakin uusia näkökohtia laitoksen turvallisuudessa sekä varautua tavanomaista voimakkaammin tiettyjen onnettomuusmahdollisuuksien varalta. Suunnitelluissa lähisijoitusratkaisuissa on erityistä painoa annettu seuraaville seikoille:

1. Reaktorin paineastian murtumismahdollisuuden huomioonottaminen
2. varautuminen lentokonetörmäysten varalta
3. maanjäristykset
4. ulkoiset räjähteet, sabotaasit ja sotilaalliset tuhoamistoimenpiteet
5. teräskontainmentin vuotojen estäminen
6. maisemalliset tekijät.

Tämän lisäksi tarvitaan tehokkaat päästöjen puhdistusmenetelmät, joiden täytyy rajoittaa I-131-päästö alle  $5 \times 10^{-2}$   $\mu\text{Ci/s}$  ja Xe-133-päästö alle 1000  $\mu\text{Ci/s}$ . Tällöin alitetaan melko tiheäänkin asutulla alueella uusimmat annosrajasuositukset (suurin vuosiansio 5 mrem, suurin väestöannos 1 manrem / (MWe  $\times$  vuosii)). Edellä on oletettu, että ydinvoimalaitok-

sen reaktoreiden terminen teho  $\leq 4000$  MW ja päästöt johdetaan noin 150 m korkean piipun kautta.

Lähisijoitetussa laitosratkaisussa voidaan mennä joko kallioon louhittuun maanalaiseen laitokseen tai maanpäälliseen laitokseen. Ruotsissa on myös harkittu ydinvoimalaitoksen kuoppasijoitusta. Maanalaisista kalliosijoitettua sijoitustapaa puoltavat seuraavat näkökohdat (BASF:in lausunto):

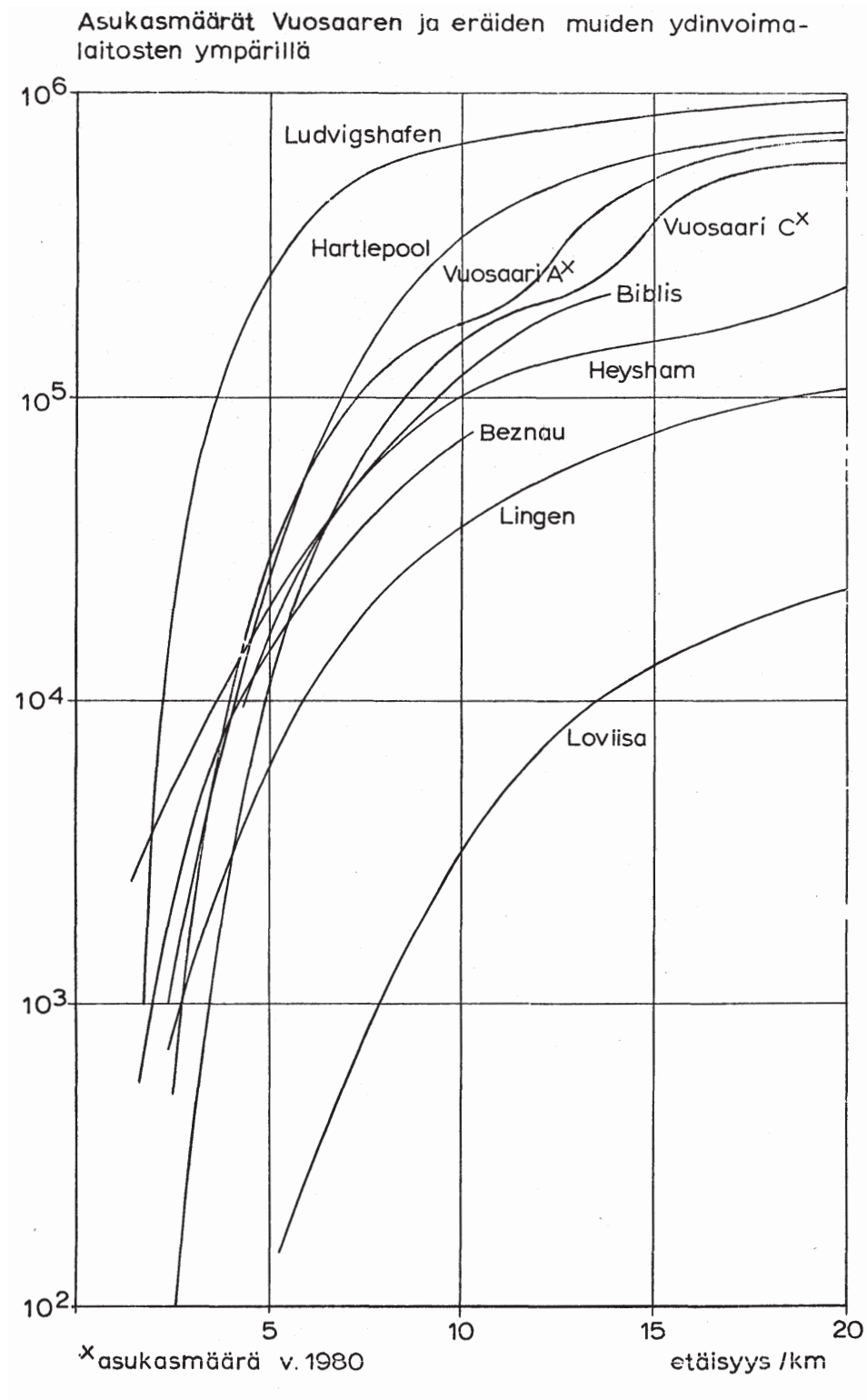
1. saadaan paineita ja sekä ulkoisia että sisäisiä miellejä hyvin kestävä suojarakenne
2. jos pohjaveden paine luolien ympärillä on suuri, ovat luolat erittäin kaasutiiviitä
3. ilmakehää kohti kulkeutuva radioaktiivisuus suodattuu huomattavasti kulkiesaan irtaimen maaperän läpi [5,7,8]
4. maanjäristysten vaikutukset ovat maan alla pienemmät kuin maan päällä
5. sotatilan aikana maanalainen sijoittaminen johtaa suureen kriisivarmuuteen.

Maanalaisista sijoittamista vastaan voidaan esittää seuraavia mielipiteitä:

1. voi esiintyä luoksepääsemättömyyttä turvallisuuslaitteiden tai -rakenteiden korjausten kannalta
2. on olemassa erittäin epätodennäköinen mahdollisuus, että reaktorin sydämeen pääsee booraamatonta vettä onnettomuustapauksessa
3. pohjaveden saastumismahdollisuus (pohjaveden virtausnopeudet ovat kuitenkin pieniä)
4. normaalikäytössä maanalaisesta sijoitusratkaisusta ei ole suurta hyötyä
5. kaksoiskontainmenttijärjestelyillä päästään onnettomuustapauksissakin pieniin ympäristöpäästöihin myös maanpäällisessä sijoituksessa
6. kriittisten sähkökaapeleiden ja putkistojen mahdollinen piteneminen maanalaisessa sijoitusratkaisussa
7. normaalikäytössä tietyt toiminnat voivat hankaloitua (polttoaineen käsittely)
8. luolien tulvimisvaara ja mahdollisesti esiintyvät suuret jäähditysveden paineet turbiinin lauhduttimessa.

Edelliset näkökohdat osoittavat selvästi, ettei lähisijoitetun ydinvoimalaitoksen sijoitustapavalinta ole helppo. Taulukossa 2 on tarkasteltu mahdollisuuksia ottaa huomioon eri tekijöitä maanalaisessa kalliosijoituksessa, maanpäällisessä sijoituksessa ja kuoppasijoituksessa. Maanalainen sijoittaminen vaatii hyvän kalliooperan.

Taulukon mukaan kaikki edellä esitetyt lähisijoitusvaatimukset voidaan jossain määrin ottaa huomioon kaikissa sijoitustavois-



Kuva 1. Helsingin itäisten ydinvoimalaitosvaihtoehtojen ympäristön asukasmäärät verrattuna eräiden muiden ydinvoimalaitosten sijoituspaikkojen ympäristön asukasmääriin (Ludwigshafenin sijoituspaikka on vasta suunnitteilla) [3].

sa. Tästä esimerkkinä olkoon lentokoneonnettomuuden analysointi [9], joka osoittaa, että lentokonetörmäysten aiheuttamat onnettomuustodennäköisyydet ja niihin liittyvät päästöt sijaitsevat tavallisesti sovellettavan Farmer-käyrän alapuolella. Laitoksia voidaan suojata paksuin lentokonetörmäyksen kestävin betoniseinämin. Tavallisesti ajatellun DBA-onnettomuuden analysoinneissa voidaan tarkastella seuraavia vaihtoehtoisia tilanteita.

1. Reaktorikontainmentin ilma tuuletetaan onnettomuuden aikana. Vaikka suodattimien efektiivisyydet olisivat suuret ympäristön väestön annokset tulevat liian suuriksi [10].
2. Yksinkertainen reaktorikontainmentti on suljettu onnettomuuden aikana. Jos arvioidaan, että teräskontainmentin vuoto on 1 % tilavuudesta/vrk tulevat säteilyannokset tiheään asutulla alueella liian suuriksi.
3. Primäärikontainmenttia ympäröi sekundäärikontainmentti ja välitilan ilma tuuletetaan, suodatetaan (efektiivisyys jodipäästölle 0,95) ja päästöt tapahtuvat noin 150 m korkean piipun kautta. Tällöin päästään tiheäänkin asutulla alueella DBA-onnettomuutta ajatellen sallittaviin annosmääriin (lapsen saama kilpirauhasannos < 150 rem, väestöannos < 10<sup>6</sup> manrem).
4. Käytetään nollapäästöjärjestelmää onnettomuuden aikana. Tällöin kahden kontainmentin välitilassa pidetään alapainetta

ja ilmaa pumpataan välitilasta primäärikontainmentin sisälle. Päästöt ulkoilmaan ajoitetaan sopiville sääolosuhteille. Näin alitetaan sallittavat annosrajat.

5. Sekä primääri- että sekundäärikontainmentti suljetaan. Vuotojen ansiosta saadaan yleensä liian suuria annoksia tiheään asutulla alueella. Hyötyä saavutetaan, kun radioaktiivisen nuklidin puoliintumisaika < 10 vrk (olettaen betoninen sekundäärikontainmentti, jonka vuoto ~2 % tilavuudesta/vrk).

Useat lähisijoituksen vaatimat tekijät ovat automaattisesti otettavissa huomioon maanalaisessa sijoittamisessa. Näitä ovat lentokonetörmäykset ja sotilaalliset tuhoamistoimenpiteet. Jos luolastojen päällä on ~40...60 m kalliota, varaudutaan riittävästi sodanaikaisten pommitusvaarojen varalta [11]. Reaktoritankin murtuminen voidaan ehkä hallita paremmin maan alla kuin maan päällä. Maanpäällisissä ratkaisuissa voidaan käyttää joko esijännitettyä betonista tehtyä paineastiaa (BWR) tai betonista sekundääripaineastiaa (PWR). Maanalaisessa ratkaisussa onnettomuuksien seurauksina syntyvät radioaktiivisuusvuodot ympäristöön vastaavat pahimmassakin tapauksessa vuotoja tiiviin teräskontainmentin läpi.

Maan alle on tällä hetkellä sijoitettu Haldenin ja Ägestan kokeilureaktorit samoin kuin Lucensin sydänvaurion vuoksi suljettu reaktori. Tehoreaktoreista vain SENA-laitoksen

reaktori (Choozissa) on maanalaisessa luolasessa. Sijoitustavan valinta on myös voimakkaasti taloudellinen kysymys, sillä maanpäälliset betonikontainmenttiratkaisut voivat olla kalliaita ja nykyisellä louhintatekniikalla ja tiedoilla kallioperän ominaisuuksista voidaan päästä halpaan ja luotettavaan maanalaiseen suojarakennusratkaisuun.

## Pääkaupunkiseudun ydinvoimasuunnitelmien eteenpäinvieminen

Pääkaupunkiseudun ydinvoimalaitossuunnitelmat ovat olleet kehitteillä jo vuodesta 1968 lähtien. Suunnitelmat ovat olleet pääasiassa taloudellisia, joskin on seurattu tarkoin, mitä muualla maailmassa tapahtuu. Vuoden 1972 puolella on kartoitettu kallioonsijoittamiseen liittyviä tekijöitä. Syksyn kuluessa on tehty akustisia luotauksia ajateltujen sijoituspaikkojen ympärillä kalliorakenteen ruuhjeiden paljastamiseksi. Outokumpu Oy:n Kotalahden kaivoksella tehtiin maanalaisen hydraulisen paineilmasäiliön vuototiiveyden mittaus. Säiliö osoittautui erittäin tiiviiksi suuresta paineesta (yli 7,5 ilmakehän ylipaine) huolimatta. Ensimmäinen selvitys maanalaisesta sijoittamisesta valmistuu kevään 1973 aikana.

Osittain rinnan edellisen tutkimuksen kanssa on tarkoitus tehdä tutkimusta sijoituspaikan vaatimista turvallisuustoimenpiteistä. Tutkimukseen on ajateltu osallistuvan myös

Taulukko 1. Asukasmäärät Barsebäck-laitoksen ja yhden Helsingin itäpuolisen sijoituspaikkavaihtoehdon ympärillä.

Tarkastellun ympäristön säde	Barsebäck-laitos	Helsingin itäpuolinen ydinvoimalaitos (1990)
2,5	190...200	~100
5	750	9500
7,5	2200	64500
10	6000	130500
12,5	9100	207500
15	77000	335500
17,5	210000	508500
20	370000	672500
30	1600000	942500
40	1900000	1078500
50	2340000	1213000

Taulukko 2. Mahdollisuus ottaa huomioon eri tekijöitä kallioonsijoittamisessa, kuoppasijoituksessa ja maanpäällisessä sijoituksessa.

	Kallioonsijoitus	Kuoppasijoitus	Maanpäällinen sijoitus
Reaktorin paineastian murtumisen huomioonottaminen	hyvä	kohtalainen	kohtalainen
Lentokonetörmäysten huomioonottaminen	hyvä	kohtalainen	kohtalainen
Sabotaasin estäminen	kohtalainen	kohtalainen	kohtalainen
Sotilaallisten tuhoamistoimenpiteiden estäminen	hyvä	kohtalainen	huono
Maisemalliset tekijät	hyvä	hyvä	kohtalainen
Rakennusteknillinen toteuttaminen	kohtalainen (mahdollisesti hyvä)	hyvä	hyvä

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen Helsingin kaupungin sähkölaitoksen siltä tilaamien tilausten kautta. Selvitykset keskittyivät aiheisiin:

1. Turvallisuus ja ydinvoimalaitoksen ympäristölleen aiheuttama riski. Tässä yhteydessä kartoitetaan hyötynäkökohdat ja vaarallisuusnäkökohdat. Lisäksi tutkitaan mahdollisuuksia suojata ympäristö erittäin vaikeissa häiriötilanteissa, lasketaan mahdolliset väestöannokset ja selvitetään radioaktiivisten päästöjen puhdistamista.
2. Lähisijoituksen aiheuttama kustannusten nousu. Asia liittyy myös kallioonsijoittamisprojektiin.

3. Mahdolliset rakenneratkaisut niihin liittyvine sijoitustapavaihtoehtoineen (kallioonsijoittaminen, maanpäällinen sijoitus ja kuoppasijoitus), paineastiaratkaisut sekä vara- ja apuvoimajärjestelmät.
4. Yleiset tekijät sijoituspaikkaa ja -tapaa valittaessa ja tarvittavat ympäristötutkimukset.

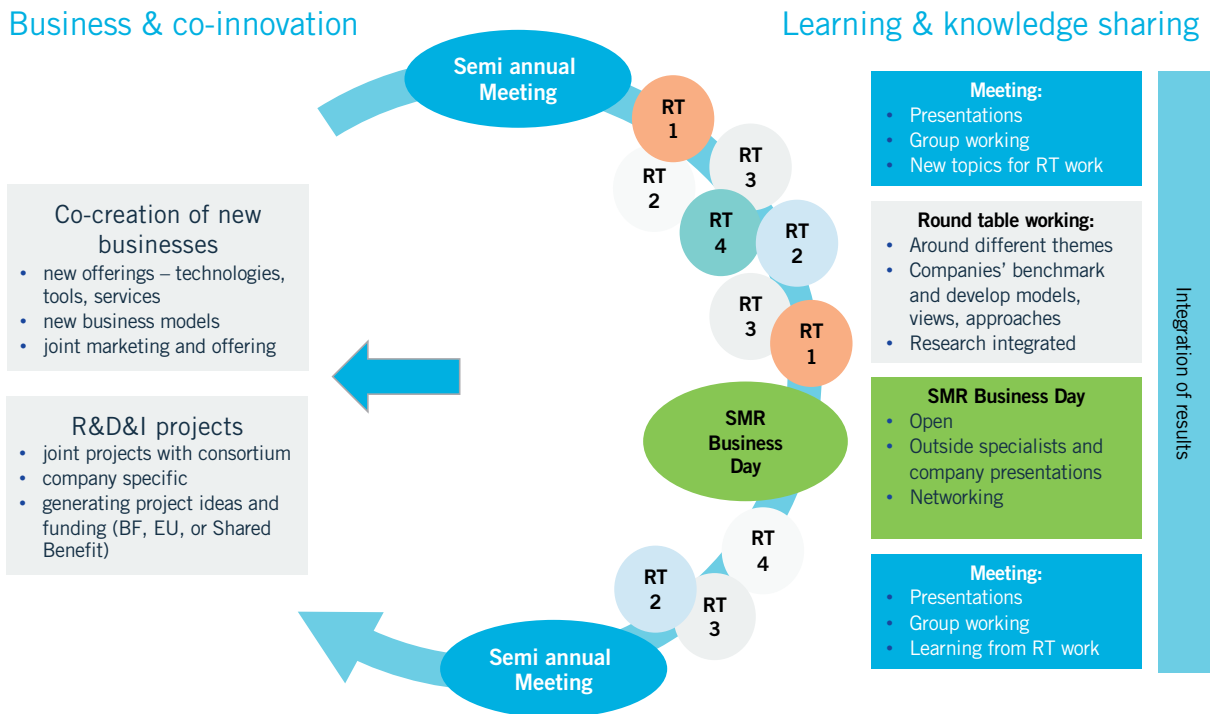
Sen lisäksi, että tutkimuksesta saatavia tietoja tarvitaan ydinvoimalaitosten turvallisuuden arvioinnissa, on tuloksilla myös merkitystä selvitetäessä energiahuollon kehittämismahdollisuuksia. Koska pääkaupunkiseudun ener-

gianhankintasuunnitelmien mukaan ensimmäisen reaktorin pitäisi olla kaupallisessa käytössä vuonna 1982, on sijoitustutkimus pyrittävä tekemään nopeasti.

**Tkt Olli J. A. Tiainen**  
ydintekniikan asiantuntija  
Helsingin kaupungin sähkölaitos

## Lähdeluettelo

- [1] Pääkaupunkiseudun energiahuoltotoimikunnan mietintö, 1970-09-08.
- [2] Mikola J., Atomivoima Helsingin kaupunkiseudun energiahuollossa, Sähkö 44 (1971) 7-8, s. 167...170.
- [3] Vuorinen A. ja Toivola A., Ydinvoimalaitoksen paikanvalintaan vaikuttavista turvallisuustekijöistä, Sähkö 44 (1971) 7-8, s. 164...167.
- [4] Environmental aspects of nuclear power stations, Proceedings of a Symposium, New York, 10...14 August 1970, IAEA Vienna 1971.
- [5] Janelid I., Metod för att bibehålla grundvattnet som tätande medel kring berggrum, IVA Bergmekanikkommitténs diskussionsmöte, 1970-02-13.
- [6] Aro P., Kortelainen P. and Tiainen O.J.A., On the air leakage of large openings for underground siting of nuclear plants, HKS muistio, 1973.
- [7] Carlborn L., v. Ubish H., Holmquist C-E. and Hultgren S., On the design and containment of nuclear power stations located in rock, A/CONF. 15/P/172, 1958.
- [8] Kägi J., Some observations upon the influence on public safety of underground containment in nuclear power plants, IV Rassegna Internazionale Elettronica e Nucleare, Rome I (1959), s. 67...86.
- [9] Joerissen G. and Zuend H., Risk of an aircraft crash on a nuclear power plant, Nuclex 72, Technical Meeting No 9, Paper 5, 1972.
- [10] Beranék J., Kriz Z., Chochlovský I., Raisigl C. and Sevc J., Nuclear power plants siting in the Czechoslovak Socialist Republic, A/CONF. 49/P/543, 1971.
- [11] Ydinenergian merkitys energiahuollossa ja ydinvoimalaitoksista koituvat vaarat kriisi- ja sotatilanteessa, MATINE/Ydintekniikan jaosto, 1972-12-22 (Mattila J., Jauho P.).



# Ekosysteemi kokoaa atomeja

Suomen teollisuudessa on jo pitkään aktiivisesti kehitetty erilaisia ekosysteemejä kaupallista potentiaalia sisältävien aihealueiden ympärille. Ekosysteemikäsité on luonteeltaan sateenvarjo, jonka alle mahtuu useita erilaisia toimijoiden verkostoja.

**Teksti:** Antti Hakola, Silja Häkkinen, Tapani Ryyänen ja Marjut Vähänen



**TkT Antti Hakola**  
ECO-Fusion -hankkeen projektipäällikkö  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
antti.hakola@vtt.fi

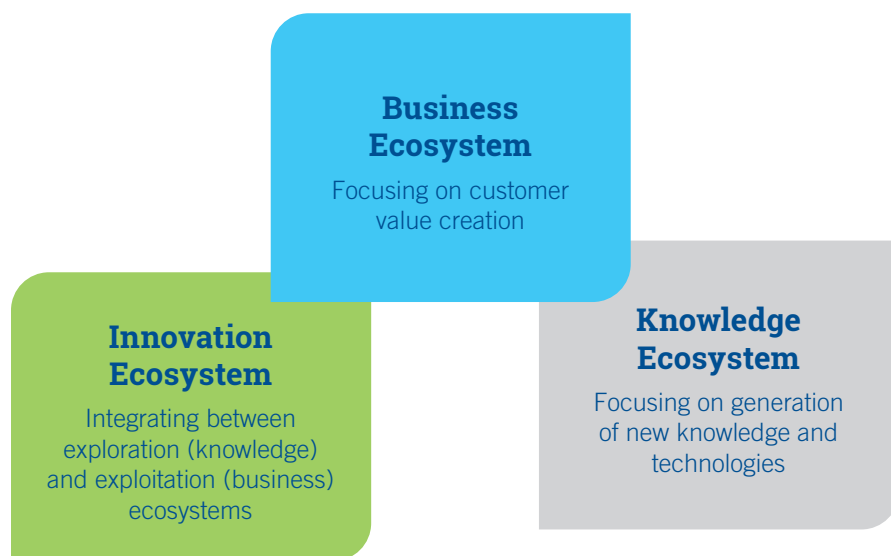


**TkT Silja Häkkinen**  
EcoSMR-hankkeen projektipäällikkö  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
silja.hakkinen@vtt.fi



**DI Tapani Ryyänen**  
dECOMM-hankkeen projektipäällikkö  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
tapani.ryynanen@vtt.fi

Vasemmalla: EcoSMR-ekosysteemin vuosikello. RT:t (Round Table) ovat aihekohtaisia keskusteluryhmiä.



Ekosysteemit voidaan jakaa kolmeen erilaiseen tyyppiin.

**YKSI TAPA HAHMOTTAA** ekosysteemejä on jakaa niitä eri tyyppisiin esimerkiksi oheisen kuvan mukaisesti innovaatio-, bisnes- ja tietoekosysteemeihin. Näiden lisäksi yksi uusimmista tuloista on "purpose ecosystem", jonka yhtenä tavoitteena voi olla vaikkapa ympäristönsuojelullisten arvojen kehittäminen. Liiketoimintaekosysteemien keskiössä on usein niin sanottu veturiyritys, joka on tyypillisesti alansa merkittävä suuryritys. Tutkimuskeskeisempiä innovaatioekosysteemejä puolestaan muodostuu myös yliopistojen ja tutkimuslaitosten käynnistäminä.

### Ydinvoima-alan ekosysteemejä on käynnistynyt hiljattain

Viime vuosina Suomessa on lähdetty kokomaan ekosysteemejä myös ydinvoiman eri aihealueiden ympärille. Tavoitteena on tuoda yhteen niin alalla jo toimivia kuin alan ulkopuolella olevia yrityksiä, joilla on ekosysteemin aihepiiriin soveltuvaa tai siihen helposti muokattavaa osaamista. Erityinen ekosysteemejä tukeva, tutkimusorganisaatioiden ja yritysten yhteishankkeisiin kohdistettu rahoitusmuoto on Business Finlandin co-innovation-hanke. Kyseistä rahoitusta myönnetään erityisesti uuden tiedon ja innovaatioiden kehittämiseksi uuden liiketoiminnan tarpeisiin. Käytännössä kyseessä on yhteisrahoitteinen hanke: kokonaisrahoitus muodostuu tyypil-

lisesti Business Finlandin, partneriyritysten sekä tutkimusosapuolten kuten VTT:n ja yliopistojen osuuksista.

Vuoden 2020 alusta käynnistyneen dE-COMM-projektin tavoite on vanhojen ydinvoimaloiden purkamiseen soveltuvan osaamisen tuominen yhteisen pöydän ääreen. Tarkoitus on miettiä, mitä lisäarvoa ja laajennettua tarjontaa porukalla voidaan tuoda kansainvälisille markkinoille. Vuoden 2020 puolivälissä käynnistyi EcoSMR-projekti, joka nimensä mukaisesti kokoaa ekosysteemiä uuden sukupolven pienreaktoreiden ympärille.

Näiden lisäksi valmisteilla on fuusiotutkimuksen hanke, jossa myös tuodaan eri toimijoita yhteen, mutta hieman eri näkökulmasta. Hanke painottuisi suomalaisten yritysten ja kansainvälisen fuusiotutkimuksen suurhank-



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




**DECOMM ON TUTKIMUSPROJEKTI**, jonka tavoitteena on luoda yhdessä sekä taitoja että toimintatapoja, joiden avulla suomalaiset yritykset ja liiketoimintaverkostot voivat saada uusia tuotteita ja palveluita nopeammin ydinvoimalaitosten purkumarkkinoille. VTT:n vetämän tutkimushankkeen kanssa samanaikaisesti kolmessa yrityshankkeessa luodaan ratkaisuja seuraavilla teema-alueilla: rakennusten tietomallit, virtuaali- ja lisätty todellisuus, säteilyn leviämismallinnus, inhimilliset tekijät, luvitus, innovaatioekosysteemit ja ekosysteeminen liiketoiminta. Partnereina projektissa ovat Ekonia Oy, Teollisuuden Voima Oy, Delete Demolition Oy, Sweco Oy, BMH Technology. Lisäksi Fortum Oy on mukana omalla rinnakkaishankkeellaan. Lisätietoa: [www.decomm.fi](http://www.decomm.fi).

keiden, kuten ITER ja DEMO, vuorovaikutukseen suomalaisten toimijoiden ja näiden muodostaman kansallisen ekosysteemin kanssa. Tärkein kysymys tähän liittyen on, miten suomalaiset pk-yritykset voisivat pärjätä paremmin näihin suurhankkeisiin liittyvien hankintojen tai osakokonaisuuksien kilpailutuksissa osana kansainvälisiä verkostoja. Myöhemmin keväällä näemme, saadaanko myös tämä liiketoiminnan ja innovaatioiden fuusioreaktori käynnistymään.

### Ekosysteemit tähtäävät itsenäiseen toimintaan

Näissä kaikissa hankkeissa VTT on ollut liikkeellä jo ekosysteemin elinkaaren alkuvaiheissa käynnistäjän tai kehittäjän roolissa. Toki aloilla on ollut merkittävää verkostoitumista niin Suomessa kuin kansainvälisestikin, mutta aktiivista yhteisen ekosysteemin rakentamista ei ole aikaisemmin näistä lähtökohdista tehty. Co-innovation-projektien osatehtävänä on aktivoida toimijoita ja alustaa ekosysteemin toimintaa siten, että projektien loputtua ekosysteemien toiminta voi jatkua itsenäisesti, eli käynnistämiseen ei enää suunnata rahoitusta. Tämä voi tarkoittaa yhdessä käynnistettäviä uusia hankkeita, joilla on merkittävä rooli ekosysteemien kehittämisen työkalupakissa, tai esimerkiksi jäsenmaksuihin perustuvaa yhdistystoimintaa. Voidaan myös ajatella näiden ekosysteemien yhteistä järjestäytymistä ja yhteistyötä jo olemassa olevien toimijoiden kanssa tai niiden osana.

Yhteinen ja tärkein sanoma lukijalle on: mikäli nämä aiheet kiinnostavat ja yrityksesi on kiinnostunut lähtemään mukaan, vieraile projektien verkkosivuilla ja ota halutessasi yhteyttä. 



**ECOSMR** on VTT:n koordinoima tutkimusprojekti, jonka tavoitteena on tukea suomalaisten yritysten pääsyä syntyvässä oleville pienreaktorimarkkinoille sekä kotimaassa että ulkomailla. Tavoitteeseen pyritään vahvistamalla suomalaista pienreaktoriosuamista, erityisesti kaukolämpöreaktoreihin liittyvissä asioissa, sekä verkostoitumalla kotimaisten ja ulkomaisten pienreaktoritoimijoiden kesken. Projektissa tehtävä työ jakautuu seitsemään työpakettiin, joista voidaan erottaa kolme isompaa kokonaisuutta:

- Lisensointiin ja sen standardoimiseen liittyvät kysymykset, kuten esimerkiksi suoja-alueen koon arviointikriteerit.

- Kaukolämpöreaktoriin liittyvät tekniset ja taloudelliset tutkimukset erilaisissa skenaarioissa.
- Liiketoiminta- ja palvelumallien määrittäminen, esim. vastuunjako, sekä pienreaktoriekosysteemin muodostaminen ja sen arvonlisäyksen ymmärtäminen.

Näiden lisäksi projektin puitteissa järjestetään kaikille avoimia seminaareja, joista ensimmäinen ”EcoSMR Open Business Day 2021” 22.3.2021. EcoSMR:n tutkimuspartnereita ovat VTT ja LUT-yliopisto sekä yrityspartnereina AFRY, Clenercon, EnviroCase, Fortum, Helen, Refinex, Rockplan, TVO ja Vantaan Energia. Projektista ja muun muassa seminaareista voi lukea lisää projektin internetsivuilta [www.ecosmr.fi](http://www.ecosmr.fi).

## ECO-Fusion

**ECO-FUSION-HANKKEEN** keskeinen tavoite on kehittää fuusiotutkimuksen alalle uutta osaamista, joka hyödyttää sekä varsinaista tutkimuskenttää – VTT:tä ja suomalaisia yliopistoja – että ekosysteemihankkeeseen osallistuvia yrityksiä ja joka on samalla linjassa EU:n ja ITERin tutkimusohjelmien kanssa. EU-tutkimuksen osalta vetovastuussa on EUROfusion-konsortio, jonka jäsen Suomi on ollut jo vuodesta 2014 lähtien. Konkreettisia esimerkkejä uusista avauksista ovat fuusioreaktorien etäoperoin-

nin kehittäminen digitaalisten ratkaisujen avulla, koko laitoksen toiminnan käsittävät Apros-analysit, uudenlaisten rakennemateriaalien kehittäminen, fuusiorelevantteissa olosuhteissa säteilytettyjen näytteiden analysoinnit sekä fuusioreaktorien turvallisuuteen, lisensointiin ja lopulta käytöstäpoistoon liittyvät kysymykset. Erityisesti viimeksi mainituilla aloilla Suomi pystyy suoraan hyödyntämään vuosikymmenten aikana kertynyttä kokemusta fissio- ja reaktoritutkimuksen saralta. Merkittävä osa ekosysteemiä tulee olemaan tekoälyn, suurteholaskennan ja Big Datan integroiminen osaksi fuusiotutkimusta. Tätä tavoitetta EUROfusion tukee monin eri instrumentein.

## FINUELS

**FINNUCLEARIN** ydinenergia-alan elinkaariosuamisen edistämiseen keskittyvä Business Finland orkestrointi-hanke FINUELS (Finnish Nuclear Energy Life cycle Services) rakentaa ydinenergia-alan ekosysteemiä, joka tarjoaa kansainvälisillä markkinoilla tarvittavaa alan erikoisosaamista ja kehittää koko alan innovaatiotoimintaa. Lisäksi hankkeessa laajennetaan ekosysteemiä systemaattisesti, kansainvälinen ulottuvuus huomioiden.

Seuraavan kahden vuoden aikana ekosysteemissä kehitetään liiketoimintaa ja alan osaamista kolmen ydinenergia-alan liiketoimintakärjen ympärillä: voimalaitosten eliniän hallinta, laitosten käytöstäpoisto sekä ydinjätehuolto. Hankkeen alkuvaiheessa rakennetaan tiekartat eri osa-alueille liiketoiminnan ja osaamisen kehittämiseksi. Edellisten liiketoimintakärkien lisäksi hankkeessa pyritään myös aktivoimaan suomalaisia yrityksiä mukaan kansainväliin fuusioteknologiaan liittyviin projekteihin ns. ILO-toiminnan kautta (Industry Liaison Officer).



# Översyn av föreskrifter för svenska kärntekniska anläggningar

I Strålsäkerhetsmyndighetens (SSM) uppdrag ingår att vara pådrivande för en god strålsäkerhet i samhället och arbeta för att förebygga radiologiska nödsituationer samt säkerställa att arbetstagare, allmänhet och miljön är skyddad mot exponering för joniserande strålning. En tydlig reglering av verksamheter med strålning genom föreskrifter är en viktig pådrivande del.

**Text:** Lars Skånberg, Aino Obenius-Mowitz

**S EDAN 2013 PÅGÅR EN OMFATTANDE** översyn av SSM:s föreskrifter om strålsäkerhet vid kärntekniska anläggningar. Arbetet utgår från ett helhetsperspektiv som innebär att åtgärder för strålskydd och säkerhet, inklusive fysiskt skydd, regleras tillsammans i de sammanhang där åtgärder för alla dessa aspekter är aktuella. Föreskrifterna baseras på moderna internationella standarder inom säkerhets- och strålskyddsområdet samt inom fysiskt skydd.

## Bakgrund

Kärnteknisk verksamhet kan påverka människors hälsa och miljön om det inträffar olyck-

or som leder till större utsläpp av radioaktiva ämnen eller till att arbetstagare utsätts för joniserande strålning över acceptabla nivåer. Det är därför nödvändigt med tydlig reglering från samhällets sida av hur dessa verksamheter ska bedrivas och hur skyddet mot skadlig verkan av joniserande strålning ska utformas och upprätthållas.

I enlighet med internationella krav, överenskommelser och förväntningar reglerar alla länder med kärnkraftsreaktorer eller andra kärntekniska anläggningar dessa verksamheter, men sätten för regleringen varierar. De varierande sätten för reglering beror av nationella regleringsfilosofier och praxis för såväl kärntekniska verksamheter som andra verk-

samheter vilka kan påverka människors hälsa och miljön.

Detta innebär att en del länder har omfattande och relativt detaljerad reglering medan andra länder har mer övergripande och målorienterad reglering av de kärntekniska verksamheterna. Samtidigt sker efterhand en ökad grad av harmonisering både inom Europeiska unionen som internationellt genom bland annat Western European Nuclear Regulators Association (WENRA) och det internationella atomenergiorganet IAEA. För- och nackdelar med olika reglerings- och tillsynsfilosofier har också studerats i internationell samverkan [1] och samverkansorganet Committee on Nuclear Regulatory Activities (CNRA) inom OECD har givit ut övergripande vägledning [2].

Vid den tid då de svenska kärnkraftsreaktorerna konstruerades och uppfördes under 1960- och 1970-talen fanns utöver dåvarande atomenergilag och strålskyddslag, med föreskrifter beslutade med stöd av den senare lagen, inga generellt bindande och mer detaljerade föreskrifter inom kärnsäkerhetsområdet. Tillverkare och tillståndshavare utgick istället ifrån de regler som då gällde i USA. Genom att dessa regler refererades i de säkerhetsredovisningar (SAR) som låg till grund för regeringens tillståndsbeslut ansågs de i någon mening även formellt bindande. Det fanns heller inga mandat för varken regeringen eller tillsynsmyndigheten att besluta om generellt giltiga föreskrifter.



**Lars Skånberg, M.Sc.**

Senior Adviser

Dept. of Nuclear Power Plant Safety  
Swedish Radiation Safety Authority  
lars.skanberg@ssm.se



**Aino Obenius-Mowitz, M.Sc.**

Analyst, Human Factors Specialist  
Dept. of Nuclear Power Plant Safety  
Swedish Radiation Safety Authority  
aino.obenius-mowitz@ssm.se

om ett större antal och mer detaljerade föreskrifter med stöd av strålskyddslagen och som skulle tillämpas parallellt med SKI:s föreskrifter vid de kärntekniska anläggningarna. I samband med sammanläggningen 2008 av SKI och SSI till Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) överfördes de tidigare myndighetsföreskrifterna till SSM:s författningssamling.

### En ny författningssamling för en ny myndighet

I den departementsskrivelse som låg till grund för regeringens beslut att 2008 lägga samman SKI och SSI till en ny myndighet konstaterades emellertid att den nya myndigheten skulle behöva se över befintliga föreskrifter och ta fram en ny författningssamling. I samband med att SSM bildades definierades också begreppet strålsäkerhet som en gemensam benämning för strålskydd och säkerhet utifrån det gemensamma syftet med delbegreppen, dvs. att skydda människor och miljön mot skadlig verkan av strålning.

Det bör här noteras att fysiskt skydd i Sverige ingår i säkerhetsbegreppet vilket följer av att kärntekniklagen anger krav på att säkerheten ska upprätthållas genom att åtgärder vidtas som krävs för att förebygga sabotage som kan leda till en radiologisk nödsituation samt för att förhindra olovlig befattning med kärnämne eller kärnavfall.

Mot denna bakgrund och vunna tillämpningserfarenheter, som visat på behov av samordning, ändringar och förtydliganden, beslutade därför SSM i början av 2013 att inleda en större översyn av de tidigare framtagna föreskrifterna och att ta fram en ny författningssamling. Denna ska omfatta alla strålsäkerhetsaspekter och baseras på moderna standarder inom säkerhets- och strålskyddsområdet samt inom fysiskt skydd.

Ytterligare skäl till beslutet om en större föreskriftsöversyn var att EU:s ministerråd den 5 december 2013 beslutade om grundläggande säkerhetsnormer för skydd mot de faror som uppstår till följd av exponering för joniserande strålning, direktiv 2013/59/Euratom ("strålskyddsdirektivet"). Dessutom beslutade ministerrådet den 8 juli 2014 om ändring av direktiv 2009/71/Euratom om upprättande av ett gemenskapsramverk för kärnsäkerhet vid kärntekniska anläggningar, direktiv 2014/87/Euratom ("kärnsäkerhetsdirektivet").

Till bilden hör också att IAEA efter en s.k. IRRS-granskning under våren 2012 rekommenderade Sverige och SSM att se över det befintliga regelverket avseende kärnsäkerhet och se till att det blir tydligare, mer konsistent och heltäckande. Motsvarande rekommendation

avseende regleringen av fysiskt skydd av de svenska kärntekniska anläggningarna lämnade IAEA året innan efter en så-kallad IPPAS-granskning.

### Valt regleringssätt och utformning av SSM:s författningssamling

När arbetet med föreskriftsöversynen inleddes 2013 fördes ingående diskussioner om sättet för den framtida regleringen och utformningen av SSM:s nya författningssamling. I dessa diskussioner konstaterades att det är internationellt erkänt och accepterat att strålskydd och säkerhet har ett nära samband och är delvis överlappande begrepp. Strålskydd är mycket enklare att upprätthålla om strålkällorna ifråga är under kontroll, vilket innebär att säkerheten med nödvändighet bidrar till strålskyddet.

Det är även internationellt erkänt och accepterat att åtgärder för säkerhet och åtgärder för fysiskt skydd har ett nära samband och är delvis överlappande. Vidare att båda dessa aspekter behöver beaktas vid många åtgärder, så att förbättringar i ett avseende inte leder till försämringar i ett annat.

Med dessa diskussioner som grund har SSM beslutat utarbeta nya föreskrifter och en författningssamling utifrån ett helhetsperspektiv som ska underlätta den parallella tillämpning av föreskrifter som meddelas med stöd av kärntekniklagen respektive strålskyddslagen i enlighet med lagstiftarens intentioner. Detta innebär bland annat att åtgärder för strålskydd och säkerhet, inklusive fysiskt skydd, i större utsträckning regleras tillsammans i de sammanhang där åtgärder för alla dessa aspekter blir aktuella, och inte i särskilda föreskrifter som de svenska myndigheterna i stor utsträckning har gjort tidigare.

### Hierarki med 3 nivåer

Syftet är att uppnå ökad tydlighet och överskådlighet om de i sammanhanget aktuella strålsäkerhetskraven, och även undvika att liknande aspekter regleras i flera delar av författningssamlingen med risk för att det då även sker på olika sätt. Enligt SSM:s uppfattning leder detta till en regelförenkling på sikt, även om det inledningsvis kräver vissa ändringar i bl.a. tillståndshavarnas rutiner och dokumentation. Dessutom syftar de nya föreskrifterna till att ge bättre förutsättningar för en mer integrerad tillsyn från SSM:s sida.

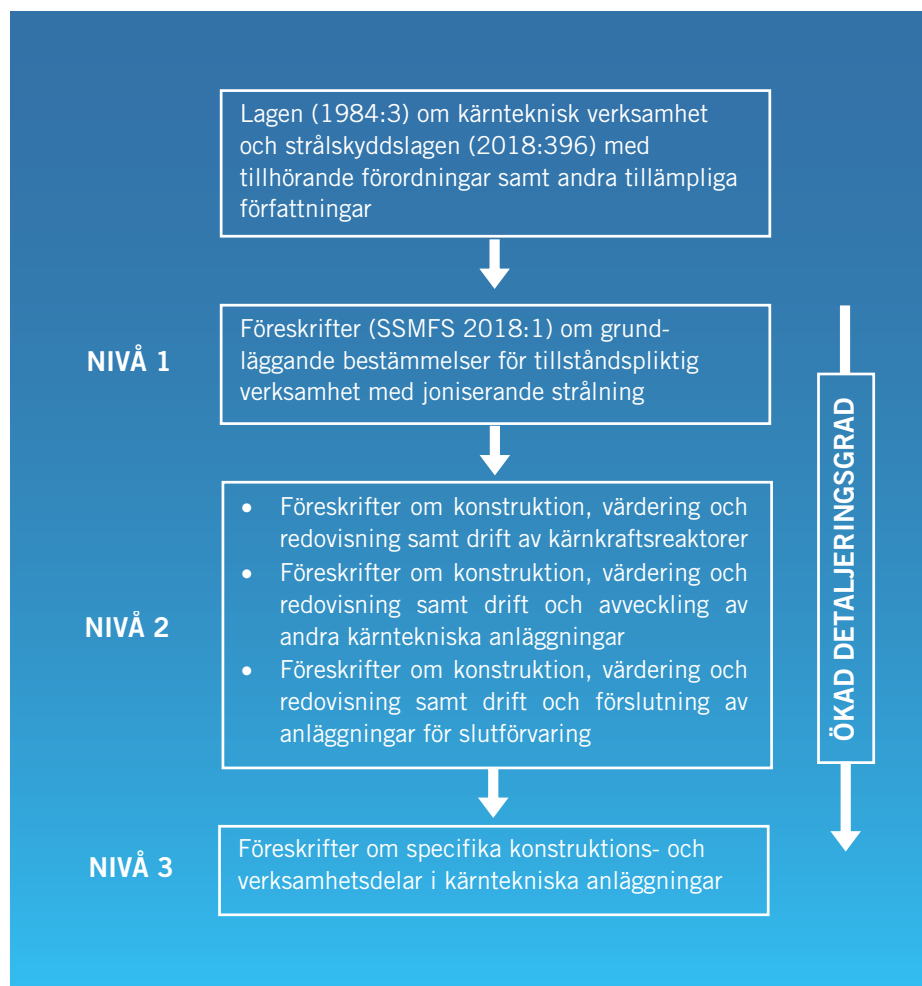
SSM har också beslutat utforma den del av författningssamlingen (SSMFS) som berör kärntekniska anläggningar hierarkiskt på tre nivåer. Denna författningsstruktur innebär följande:

### Regelverket ifrågasätts efter TMI-olyckan

Efter olyckan den 28 mars 1979 vid kärnkraftverket Three Mile Island (TMI) i USA övervägdes om det även i Sverige borde tas fram ett mer heltäckande och generellt giltigt regelverk, vars tillämpning skulle följas upp genom tillsyn från den dåvarande myndigheten, Statens kärnkraftinspektion (SKI). Det skulle emellertid dröja till 1993 innan lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen) ändrades så att SKI fick mandat att besluta om föreskrifter.

Under perioden 1994–2005 tog SKI med stöd av kärntekniklagen fram dels allmänna säkerhetsföreskrifter för kärntekniska anläggningar, dels ett mindre antal mer specifika föreskrifter. Inom SKI såväl som hos tillståndshavarna fanns mot bakgrund av tidigare sätt att reglera de kärntekniska anläggningarna uppfattningen att myndighetsregleringen genom föreskrifter skulle vara begränsad och hållas relativt övergripande. Detta var också orsakat av förhållandet att det fram till 1997 fanns regeringsbeslut om att alla svenska kärnkraftsreaktorer skulle vara avvecklad under 2010.

Inom strålskyddsområdet fanns en annan tradition och dåvarande Statens strålskyddsinstitut (SSI) hade vid denna tidpunkt beslutat



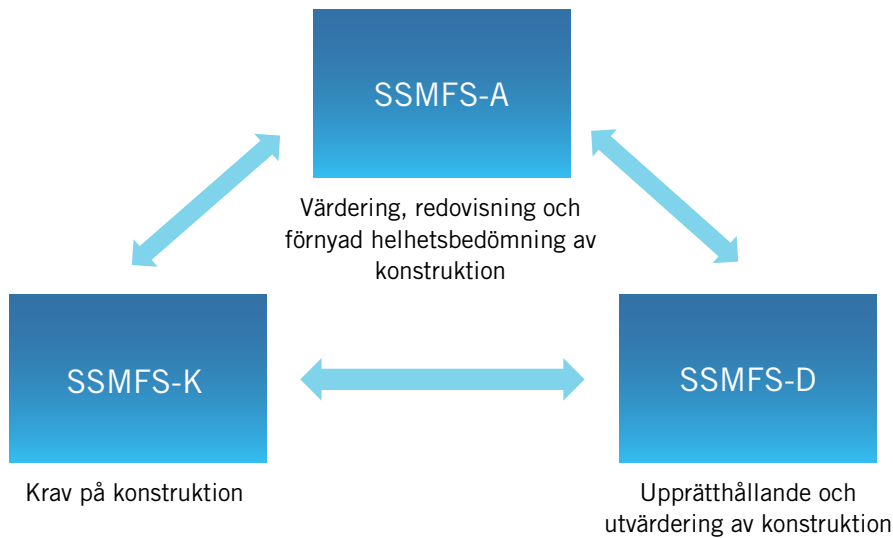
Övergripande bild över föreskriftsstrukturen för kärnkraftsreaktorer och andra kärntekniska anläggningar.

**Nivå 1** Föreskrifter (SSMFS 2018:1) om grundläggande bestämmelser för tillståndspliktig verksamhet med joniserande strålning. Dessa föreskrifter innehåller bestämmelser som är gemensamma för sådana verksamheter och kompletterar bestämmelser i lagar och förordningar. Vissa bestämmelser är av grundläggande karaktär och preciseras i föreskrifter på lägre nivåer medan andra bestämmelser är mer detaljerade utan ytterligare preciseringar.

**Nivå 2** Föreskrifter om konstruktion, värdering och redovisning samt drift av dels kärnkraftsreaktorer, dels andra kärntekniska anläggningar samt avveckling av kärntekniska anläggningar och förslutning av slutförvar. Dessa föreskrifter kompletterar och preciserar SSMFS 2018:1 anpassat till de sakfrågor som regleras i nivå 2-föreskrifterna. Även vissa lag- och förordningsbestämmelser kompletteras. Föreskrifterna på denna nivå som gäller kärnkraftsreaktorer kompletterar varandra genom att bestämmelserna avser olika delar av verksamheterna.

**Nivå 3** Föreskrifter om specifika konstruktions- och verksamhetsdelar, där en del av bestämmelserna på nivå 1 och 2 kompletteras ytterligare i olika avseenden. Dessa föreskrifter omfattar dock inte alla de konstruktions- och verksamhetsdelar som föreskrifterna på nivå 1 och 2 avser. Vissa av föreskrifterna på nivå 3 kompletterar varandra.

Genom kompletteringar och preciseringar finns det alltså kopplingar mellan de olika föreskrifterna, inte bara mellan nivåerna utan även inom respektive nivå.



Övergripande bild över hur föreskrifterna SSMFS-K, SSMFS-A och SSMFS-D förhåller sig till varandra.

I föreskrifterna på nivå 2 regleras frågor som har betydelse för strålsäkerheten, både vid kärnkraftsreaktorer och vid övriga kärntekniska anläggningar, separat och anpassat till respektive anläggningstyp. Utgångspunkter och grunder för föreskrifterna är dock desamma liksom sättet att utforma bestämmelser. Föreskrifterna på nivå 1 och 3 gäller däremot både för kärnkraftsreaktorer och för andra kärntekniska anläggningar.

Föreskrifterna är lika bindande oberoende av på vilken nivå i författningssamlingen de finns.

### Samlade föreskrifter för kärnkraftsreaktorer (nivå 2)

De föreskrifter som tillsammans ska ge den samlade regelgivningen för kärnkraftsreaktorer på nivå 2 i den planerade författningssamlingen består av följande tre delar:

- Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter (SSMFS-K) om konstruktion av kärnkraftsreaktorer,
- Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter (SSMFS-A) om värdering och redovisning av strålsäkerhet för kärnkraftsreaktorer, och

- Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter (SSMFS-D) om drift av kärnkraftsreaktorer.

I korthet innehåller SSMFS-K såväl bestämmelser om det arbete som behöver göras för att ta fram underlag för tillverkning och byggnation eller installation som bestämmelser om förväntade egenskaper hos resultatet av detta arbete, dvs. hur en kärnkraftsreaktor ska vara konstruerad. SSMFS-A innehåller bestämmelser om värdering och redovisning för att bekräfta att det finns förutsättningar att upprätthålla strålsäkerheten hos reaktorn medan SSMFS-D innehåller bestämmelser om att under drift upprätthålla och utvärdera strålsäkerheten.

Trots att bestämmelserna fördelas i tre olika SSMFS blir de gemensamt giltiga och kompletterar varandra för att ge en heltäckande kravbild. I många fall finns beroenden och förtydliganden såväl inom som mellan föreskrifterna, varför dessa behöver läsas och förstås gemensamt. Det är således viktigt att studera föreskrifterna på ett samlat sätt för att fullt ut förstå och tolka de föreslagna bestämmelserna. För att underlätta detta arbete finns det hänvisningar, direkt i bestämmelserna eller i tillhörande vägledning, mellan de olika föreskrifterna.

### Vägledningsdokument

I översynen av författningssamlingen tar SSM parallellt med förslagen till föreskrifter fram relativt detaljerade vägledningsdokument. Dessa vägledningsdokument innehåller för varje bestämmelse/grupp av bestämmelser uppgifter om

- Syftet med bestämmelsen, där det inte direkt framgår ur bestämmelsen,
- Tillämpning av bestämmelsen med förklaringar av ingående begrepp och uttryck samt exempel på tillämpningar,
- Bakgrund och överväganden med information om varför bestämmelsen har utformats på det sätt som har gjorts inklusive motiv till eventuella skillnader mot äldre bestämmelser eller internationella förebilder,
- Äldre bestämmelser med upplysningar om eller hur rättsläget har förändrats (d.v.s. om det är en skärpning, lättnad eller ändrad tillämpning), och
- Referenser med upplysningar om det är del av EU-direktiv som genomförs eller del av WENRA-dokument eller IAEA-standard som har beaktats vid utformning av bestämmelsen.

Syftet med dessa vägledningsdokument är att underlätta en riktig och konsekvent tillämpning, såväl hos tillståndshavarna som hos SSM, av de nya föreskrifterna. Vägledningarna syftar också till att ge berörda större förståelse för varför föreskrifterna har utformats på det sätt som har gjorts. Vägledningsdokumenten kommer därför att spridas till berörda tillståndshavare samt läggas ut på SSM:s hemsida tillsammans med föreskrifterna.

### Arbetsformer

De förslag till föreskrifter med tillhörande allmänna råd och vägledningstexter som tas fram inom den pågående föreskriftsöversynen utarbetas av arbetsgrupper som sätts samman utifrån vilka sakfrågor som ska regleras. Innan förslagen skickas för remiss till berörda tillståndshavare och andra berörda aktörer granskas de av dels verksjurister, dels SSM:s chefsjurist. Förslagen till föreskrifter med tillhörande allmänna råd och vägledningstexter remitteras i flera steg:

1. En första internremiss inom SSM,
2. En underhandsremiss till berörda tillståndshavare,
3. En kombinerad andra internremiss inom SSM och en andra underhandsremiss till berörda tillståndshavare, då SSM även begär in underlag till konsekvensutredningar,
4. En formell extern remiss till berörda tillståndshavare samt ett antal svenska myndigheter och andra organisationer. I denna sista remiss bifogas en utredning av de konsekvenser som de nya föreskrifterna får för berörda verksamheter och för SSM.

I samband med underhandsremisserna förs även en omfattande dialog med de berörda tillståndshavarna om föreskriftsförslagens innebörd, tydlighet och förutsägbarhet samt behov av klargöranden. Dessutom diskuteras konsekvenser av olika föreskriftsförslag som kommer fram under arbetet. Denna dialog sker på olika organisatoriska nivåer.

### Arbetsläget och erfarenheter så här långt

En omfattande föreskriftsöversyn av det slag som SSM nu genomför tar lång tid och kräver mycket resurser. Sedan arbetet inleddes 2013 har SSM hitintills lagt ned arbetsinsatser motsvarande drygt 85 personår.

Valet att utgå från utifrån ett helhetsperspektiv där krav på åtgärder för strålskydd och säkerhet, inklusive fysiskt skydd, i större utsträckning regleras tillsammans i de sammanhang där dessa strålsäkerhetsaspekter kan vara aktuella, har också lett till många och omfattande diskussioner såväl inom SSM som med berörda tillståndshavare. Dessa diskussioner har orsakats av att experter inom de olika sakområdena vanligen har olika utbildningsbakgrund och synsätt samt använder till del olika terminologi. Samtidigt har diskussionerna skapat större ömsesidig förståelse för tillämpning av grundläggande principer inom berörda sakområden samt visat att likheterna ofta är större än skillnaderna.

Hittills har drygt 20 remisser genomförts och ytterligare en remiss inleds inom kort. Föreskrifterna (SSMFS 2018:1) på nivå 1 om grundläggande bestämmelser för tillståndspliktig verksamhet med joniserande strålning har beslutats och trädde ikraft den 1 juni 2018. Under 2022 planeras föreskrifterna på nivå 2 för kärnkraftsreaktorer och sex andra delar av författningssamlingen träda i kraft. Övriga delar planeras att vara framtagna och remitterade så att de kan träda ikraft under 2023. 

### Referenser

- [1] Regulatory Approaches in Nuclear Power Supervision. SSM Research report 2013:29.  
 [2] The Characteristics of an Effective Nuclear Regulator. Nuclear Regulation NEA/CNRA/R(2014)3. OECD 2014.



The Baltic region needs 2 to 4 SMRs in coming years. SMR-concept General Electric Hitachi BWRX-300 is one of the candidates of Fermi Energia.

# Estonia going nuclear!

Why does Estonia need nuclear energy? Estonia will face critical electricity shortage in the near future if we are not taking any concrete actions to improve the circumstances. There are several factors that affect the situation.

**Text:** Kalev Kallemets, Henri Ormus



**PhD Kalev Kallemets**  
Chief Executive Officer  
Fermi Energia OÜ  
kalev.kallemets@fermi.ee



**MSc Henri Ormus**  
Co-founder  
Fermi Energia OÜ  
henri.ormus@fermi.ee

**F**IRST, THE MAJORITY OF ESTONIAN ELECTRICITY comes from oil shale, similar to brown coal, burning thermal power plants which is an extremely dirty and carbon intensive way to produce electricity. Now due to increasing CO<sub>2</sub> prices these plants are becoming uneconomical and are forced to shut down, because the cost of electricity has become uncompetitive in the market. Until 2018 Estonia was a net exporter of electricity but since 2019 when the CO<sub>2</sub> prices rose the oil shale plants have been mainly idle and Estonia is a net energy importer.

## Oil shale has to be phased out

In 2018, oil shale accounted for 76% of Estonia's total electricity generation, while in 2019 the share dropped to 57%. Some older blocks have been permanently shut down and some newer or refurbished units are kept standby or run only when the electricity price is very high, e.g., like in the beginning of 2021 when temperatures were low and electricity demand was high. One factor in this was also low renewable energy generation, because on cold winter days and nights sun did not shine and wind did not blow too much.

Secondly, in 2025 the Estonian, Latvian and Lithuanian grid will be disconnected from the Russian and Belarussian grid and connected and synchronized to continental Europe's energy system via Poland. Currently the Russian power system ensures main power reserves for frequency regulation and secures system operation within the BRELL ring (Belarus, Russia, Estonia, Latvia and Lithuania).

This means that the strong connections from Baltics to Russian and Belarussian network will be discontinued. Grid stability and the increasing electricity deficit will need to be managed mainly within the Baltic states, with some help by synchronous AC connections to Poland and DC connections Lithuania-Sweden and EstLink 1 and 2 between Estonia and Finland.

### Grid stability has to be secured

In addition, in the Nordic and Central-Eastern European region a lot of dispatchable energy sources, mainly coal but also nuclear power plants, will be permanently shut down in the coming years. This means that the electricity deficit will increase and the prices will increase. Also, from Norway and Sweden several new connections to the UK and Central Europe are built, which cause cheap hydro-electricity to flow out from the Nordics, meaning that prices in NordPool will increase.

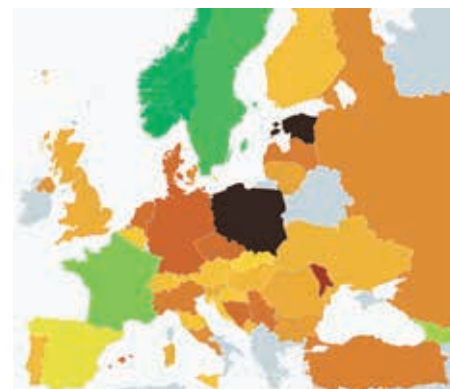
Thirdly, the increasing intermittent wind and sun energy capacity in the network creates more and more challenges and instability, because they can deliver electricity only approximately 1/3 of the time. This means that more backup power and investments to improve the grid is needed.

The less there is dispatchable power generation in the grid, the bigger are the price fluctuations and the risk of large-scale power outages increases drastically. These risks were realized for example in California last year where the share of renewable energy had grown high (which is good in itself) but at the same time large dispatchable sources were closed (including nuclear power plants), thus reducing security of electricity supply below a critical point and resulting in large scale power outages in the region. In addition, also the CO<sub>2</sub> emissions of the region increased, because nuclear was substituted with natural gas to back up the renewables.

### Own low-carbon production is needed

In Estonia we do not have too many options if we want to reach our carbon neutrality target and guarantee energy security. We need to choose: is it going to be Russian gas, imports from neighbours or to build our own Small Modular Reactor (SMR) power plants. Increasing dependency on Russian gas affects energy security and is a politically very delicate topic in Estonia. Moreover, with an increased use of natural gas Estonia will not be able to reach EU Net Zero targets by 2050, quite the opposite.

Increasing electricity imports is also not too good of an option, as the deficit in the region will only grow and thus the prices will grow. The bigger the share of imported electricity, the bigger the impact in the case of grid connection failures with the neighbouring countries (Finland, Latvia), i.e., stronger reliance on the import reduces the security of supply



Typical carbon intensity of Estonian electricity production. For the current situation see [www.electricitymap.org](http://www.electricitymap.org).

in Estonia. Also, there are substantial financial consequences to Estonian economy. In case of imports, the money flows out, and vice versa in case of export, the money flows into the country - that is simple math. Moreover, if we do not produce, we are missing out on the jobs and taxes that would benefit the country - that is not a wise thing to do.

So, what options are left if Estonia wants to have the security of supply, energy security (note that these are two different terms) and also meet the EU climate goals and reach net zero by 2050? It is quite clear that there are no other options than nuclear. Nuclear must be part of Estonian energy mix together with renewables<sup>1</sup>. It has been estimated by Fermi Energia that the Baltic region has a demand for at least 2 to 4 SMRs (e.g., 300 MWe each).

<sup>1</sup> Currently close to 30% of Estonian electricity production comes from renewable sources. One third of it is from wind power and the other two thirds are from biomass burning; the hydro and solar power contributions are negligible.



Problem: a critical electricity shortage ahead.

### Solution

We have three major options to secure our electricity supply



Three options to secure electricity supply.

A wide range of locations in the country are suitable for geologic disposal.



## Birth of Fermi Energia

The idea of Estonian nuclear power plant is not new: in the end of the 2000's Eesti Energia, the Estonian national utility was looking into nuclear energy option. They considered their own plant but also a joint venture with Latvia and Lithuania to build a new NPP at the Visaginas site close to Ignalina NPP, Lithuania, where the last of the two RBMK-type reactors was shut down in 2009. Unfortunately, these plans were not realized.

The idea of Fermi Energia started where many of the greatest ideas are born – in the sauna of course – that was in the midst of 2018. The stars had aligned, and it did not take too much time to put together a diverse team and in the wake of 2019 Fermi Energia OÜ was established by the team of Co-Founders:

- Kalev Kallamets, PhD, CEO. Expert in nuclear economics. Has been deputy director of the Geological Survey, Member of Parliament and led NGO Estonian Nuclear Power for 10 years.
- Sandor Liive, MSc, Chairman of the Board. 17 years CEO and CFO at Eesti Energia, where he created value for the owner for €2 billion, implemented investments program worth €2.7 billion.
- Merja Pukari, PhD, Nuclear fuel expert. Director of Swedish Center for Nuclear Technology, led projects in Vattenfall and Studsvik Nuclear AB for 8 years.
- Henri Ormus, MSc, Expert of Nuclear Energy Engineering. Vice president of European Nuclear Society. Responsible for Change Management in Fennovoima's Hanhikivi-1 nuclear power plant project.

- Marti Jeltsov, PhD, CTO. Reactor design and safety analysis expert from KTH Royal Institute of Technology, former power market analyst at Vattenfall.
- Kaspar Kööp, PhD, Expert of Nuclear Power Safety and Nuclear Engineering. Worked at KTH Royal Institute of Technology and Furhat Robotics.
- Mait Müntel, PhD. Particle Physicist worked at the CERN for 10 years. CEO and co-founder at Lingvist.

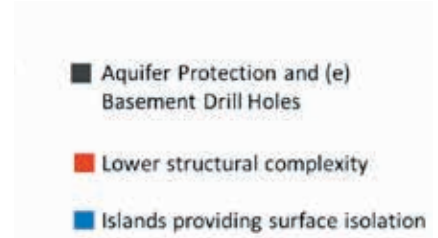
Interesting side note is that three of the co-founders, Merja, Henri and Kaspar, had been sent to study Nuclear Engineering in KTH, Stockholm back in 2007 by Sandor Liive with Eesti Energia scholarships while he was the CEO of Eesti Energia. Now after ten years they form a company together to build the first small modular reactor in Estonia.

## Aspirations of Fermi Energia

Fermi Energia aims to develop and deploy SMRs in Estonia. The plan is to have several reactors delivering between 600 to 1200 MWe.

One might ask why SMR, why not the regular large NPP? The an-

*The principle of Deep Isolation concept.*



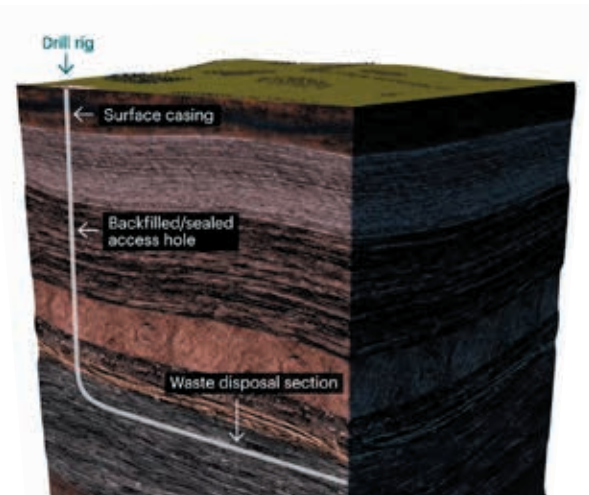
swer is simple: the Estonian grid is too small to handle a large 1000+ MWe plant as the Estonian peak consumption is only about 1500 MWe. Additionally, for the Estonian grid the maximum size of one power block is about 300 MWe, as larger units could be a risk for grid stability.

Additional considerations when thinking about SMRs are that they have high potential to deliver lower deployment and power generation costs, especially if deployed in multiple units. SMRs have potentially substantially lower unit capital cost, reducing financial, licensing and project execution risk compared to large NPPs. For example, in Hinkley Point C the different financing costs are close to 2/3 of the total cost. SMRs, due to their smaller size and innovations, have higher safety and smaller Emergency Planning Zones. SMRs have no atmospheric emissions and the main environmental impact is cooling of turbine steam by ambient air or water body such as sea or river. Land footprint is less than 1% of wind or solar.

Fermi Energia targets SMR deployment with simultaneous spent fuel final repository development solution based on Deep Borehole Depositing technology. As a result, there would be no uncertainty on when, how, where, by whom, funding and process of having a world class, hundreds of millennia long safe final repository solution.

## What has been achieved in past two years?

Fermi has successfully initiated the deployment of Small Modular Reactors with the





help of private capital and by partnering with Fortum, Vattenfall and Tractebel.

Fermi Energia has successfully initiated a public discussion on the possibility of using nuclear-based energy as a solution to both the expected energy deficiency and the carbon neutrality objective. This initiative has so far resulted in concrete proposals to various municipalities, to the public, and to the Estonian government.

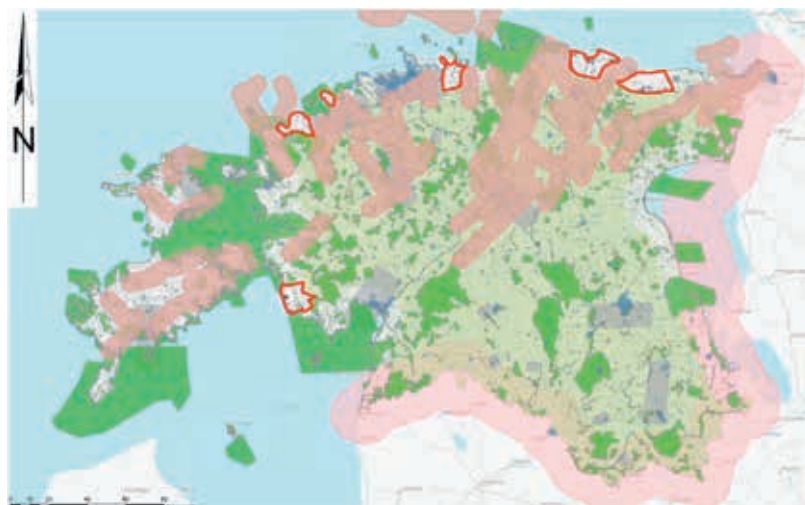
In November 2020, the Estonian Government decided to form a Nuclear Energy Committee headed by the Minister of Environment, largely thanks to Fermi Energia's involvement in the debate. Continuation of nuclear energy consideration and development of competences is supported also by the new Government led by Kaja Kallas in a new coalition agreement from January 2021.

In January 2020 the "Pre-feasibility study on SMRs potential for securing the security of supply and meeting EU climate targets in 2030+" was introduced to the wider public in Fermi Energia Conference, opened by the prime minister, which was a great success. The pre-feasibility study included several studies carried out by our international partners like Tractebel from Belgium, VTT and Fortum from Finland, and also Estonian universities (see fermi.ee for details) on the topics of SMR design reviews, energy market analysis, fuel cycle, nuclear safety, clean hydrogen production, necessary competences and their development, economics and socioeconomic analysis. Throughout 2020 several additional studies were performed that were presented in the Fermi Energia Conference in February 2021. Below we highlight a few of them.

### The SMR licensing study

Licensing is definitely one of the topics that needs to be improved in the nuclear sector. The current worldwide practice where every country carries out their own full and heavy licensing process just needs to be changed in order for the SMRs to be a success story.

The licensing study by Fortum aimed to develop a lean licensing process for a nuclear newcomer country like Estonia to maximize the utilization of existing safety case and safety assessments, avoid any unnecessary or duplicate work, and enhance cross-border regulatory cooperation, design and regulatory harmonization. The work has been overseen by a licensing advisory group consisting of international experts who have also summarized the findings and issued the "SMR licensing principles".



*Areas of interest suitable for siting multiple SMR units.*

### Final disposal of Spent Nuclear Fuel (SNF)

Nuclear waste is always one of the main concerns of the public and the discussion on potential solutions need to be initiated with the initiation of the national nuclear power program. Thus, a study on final disposal of spent nuclear fuel was carried out. It was performed by US nuclear waste disposal company Deep Isolation in collaboration with Estonian geologic and drilling company Steiger. It was found that there are no fundamental geologic limitations to disposing of radioactive waste in deep horizontal boreholes in Estonia's crystalline basement rock.

The study concluded that a wide range of locations in the country could be demonstrated to comply with International Atomic Energy Agency safety regulations for geologic disposal.

All regions of Estonia are likely to contain potential host rock formations which provide safe and cost-effective sites for a Deep Isolation repository. Research suggests that the costs for Estonia would be a fraction of what would be required for construction of a mined deep repository.

### Preliminary Site Screening

Another important study was the preliminary site screening where the whole land area of Estonia was analysed to find optimal sites for a 600–1200 MWe SMR plant. The study found that there are several suitable regions for siting an SMR plant in Estonia. The most promising locations are the coastal regions of North-East Estonia. As a result of the study five candidate

sites were selected and proposed for further evaluation.

### Future

Through research, Fermi Energia intends to initiate a National Site Planning program, to identify and approve potential construction sites, initiate regulatory development, and be professionally prepared for the desynchronization of the Baltic states from the Russian energy grid system in 2025. Moreover, through a set of partnerships, signed in early 2020 with the two largest regional nuclear power utilities Fortum and Vattenfall and with a European leading energy technology company Tractebel, Fermi Energia will access know-how and expertise to conduct research and possibly capital to invest in an Estonian Small Modular Reactor program.

Estonian new government has decided in January 2021 that the oil shale burning needs to be finished by 2035. This means Fermi Energia needs to work hard and focused to realize the Estonian Nuclear Power Program as there is no other credible option for Estonia to meet EU climate targets, guarantee the security of supply and at the same time keep the electricity price on a reasonable level.

Due to the Fermi Energia initiatives several other EU countries have started to consider SMRs, e.g., Netherlands and Ireland, but this is just the beginning. By 2050, there needs to be at least 300 new SMRs (average 300 MWe each) in the EU considering the scale of the challenge and the increase in clean energy demand by electrification, district heating, industrial steam and hydrogen production. May the force be with us!

# FiR 1:n käytetty polttoaine jatkokäyttöön USA:ssa

Denverissä Coloradossa sijaitseva Yhdysvaltojen geologisen tutkimuskeskuksen (USGS) TRIGA-reaktori vastaanotti VTT:n Otaniemessä sijaitsevan FiR 1 -tutkimusreaktorin käytetyn ydinpolttoaineen. USGS voi jatkaa reaktorinsa käyttöä Suomesta saamallaan polttoaineella useita vuosia, ja käytön päättyessä Yhdysvallat huolehtii käytetystä polttoaineesta. FiR 1 -reaktorin purku alkaa vuoden 2022 lopulla.

**Teksti:** Markus Airila ja Iiro Auterinen **Kuvat:** VTT

**Y**HDYSVALTAIN GEOLOGINEN TUTKIMUSKESKUS USGS hyödyntää vastedes Otaniemen tutkimusreaktorin käytettyä ydinpolttoainetta omassa 1 000 kW:n lämpötehoisessa TRIGA Mk I -reaktorissaan. Ratkaisu sai alkunsa kesällä 2020 käytyjen keskustelujen ohessa VTT:n kerrottua, että FiR 1:n 1960- ja 1970-luvuilla hankittua polttoainetta ei käytetty likimainkaan loppuun ennen reaktorin käytön lopettamista vuonna 2015.

FiR 1:n käytetyistä polttoaine-elementeistä suurimman osan palama on suhteellisen matala (alle 13%), minkä ansiosta USGS voi niitä

edelleen hyödyntäen turvata reaktorinsa polttoainehuollon ainakin voimassa olevan käyttö-lupakauden loppuun (lokakuuhun 2036) asti. Soveltuvan polttoaineen tuotanto on ollut keskeytyksissä useiden vuosien ajan. USGS käyttää reaktoriaan tieteellisiin tarkoituksiin, muun muassa geologisten ja eloperäisten näytteiden analyyseihin.

## Siirto ennen talven lumia ja jäitä

Sopimus käytetyn polttoaineen luovutuksesta tehtiin viime marraskuussa, VTT lähetti polttoaineen juuri ennen vuodenvaihdetta,

ja USGS otti sen vastaan tammikuun lopulla. Polttoaineen maantie- ja merikuljetuksesta vastasi Edlow International Company ja sitä valvoivat Säteilyturvakeskus ja Yhdysvaltain alueella ydin- ja säteilyturvallisuusviranomaiset (NRC) sekä Yhdysvaltain kuljetusministeriö (DOT).

Kuljetus toteutettiin mahdollisimman pian sopimuksen synnyttyä, koska jäätilanne estää merikuljetuksen hoitaneen varustamon ydinpolttoaineen kuljetusalusten liikennöinnin Itämerellä talviaikaan.

Käytetyn polttoaineen poistuminen on tutkimusreaktorin käytöstäpoiston tärkeä merkki-paalu. Meneillään olevassa suunnittelussa voidaan nyt keskittyä entistä paremmin reaktorin purkamiseen, kun käytetyn polttoaineen huollon vaihtoehtoihin ratkaisuihin, esimerkiksi vä-livarastointiin Loviisan voimalaitoksella, ei enää tarvitse varautua. Polttoaineen poisto helpottaa myös purkua valmistelevien töiden suoritusta.

## Hyötyä kaikille osapuolille

Kaikki osapuolet ovatkin ilmaisseet tyytyväisyytensä avautuneen mahdollisuuden ketterään hyödyntämiseen. Pitkään jatkunut Yhdysvaltojen energiaministeriön ulkomaisten tutkimusreaktorien palautusohjelman keskeytshän on ehtinyt aiheuttaa päänvaivaa paitsi VTT:lle myös kummankin maan viranomaisille ja VTT:n ydinjätehuollon sopimuskumppaneille.

Kuljetuksesta vastanneet yritykset saivat kaipaamaansa liiketoimintaa vaikeutuneessa markkinatilanteessa. Tähän liittyen Edlow International näki jo etukäteen omat vahvat intressinsä ja toimi pitkään VTT:n aktiivise-

1. *Noiin 22-tonnisen NAC-LWT-kuljetussäiliön nosto merikontista on käynnistymässä. Käytetyn polttoaineen lastauksen ajan säiliö seisoo pystyasennossa.*
2. *Polttoaineen siirtojärjestelmän kevyin siirtosuoja laskettuna FiR 1:n reaktoritankkiin ja osittain lastattuna. Taustalla tyhjentyvä reaktorin sydän.*
3. *Osa käytetyistä polttoainesauvoista siirrettiin kuljetukseen reaktorihallin kuivavarastosta. Tässä siirrettävä alumiinikuorinen sauva näkyy lähes valkoisena roikkumassa siirtotyökalan päässä. Aika-Suoja-Etäisyysperiaatetta noudattaen henkilöstön säteilyannokset saatiin pidettyä hyvin pieninä.*
4. *Kuljetussäiliön omistava NAC International huolehtii myös säiliön käytöstä hoitaessaan polttoainekuljetuksia eri laitoksilta. Kuljetussäiliön päällä olevan siirtosuojan avulla polttoainetta siirretään säiliöön 24 elementtiä sisältävä korillinen kerrallaan.*



**Tkt Markus Airila**

Senior Scientist, Project Manager  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
markus.airila@vtt.fi



**DI Iiro Auterinen**

Principal Scientist  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
iiro.auterinen@vtt.fi

na ja merkittävänä tukena järjestelyn toteuttamisessa. Mikä parasta, uraani saatiin vielä hyötykäyttöön eikä päätynyt ennenaikaisesti jätteeksi. Vain se kauppias, jolta olisi ostettu säiliö välivarastointia varten, saattaa kiristellä hampaitaan kauppojen peruunnuttua.

Tutkimusreaktorin käytetyn polttoaineen vieminen maasta on Suomen ydinenergialain sallima poikkeus. Ennen polttoaineen lähettämistä Suomi sai Yhdysvaltojen viranomaisilta selvityksen siihen liittyvän ydinjätehuollon järjestämisestä. USGS:n lopettaessa reaktorinsa käytön se toimittaa käytetyn polttoaineen Idahon kansalliseen tutkimuskeskukseen. Yhdysvaltojen energiaministeriö DOE huolehtii polttoaineesta menettelyllä, jonka VTT on jo aiemmin esittänyt suunnitelmissaan ja käytöstäpoiston lupahakemuksessaan.

VTT lopetti FiR 1:n käytön vuonna 2015 ja on hakenut kesällä 2017 valtioneuvostolta lupaa käytöstä poistamiseen. VTT ilmoitti


polttoaineen lähettämistä työ- ja elinkeinoministeriölle 10.2.2021 jättämässään lupahakemuksen rajauksessa. TEM kertoi omassa tiedotteessaan, että VTT:n hakemus toimitetaan valtioneuvoston käsittelyyn kevään 2021 aikana. Jaamme lehden lukijoille kokemuksia ja oppeja melko pitkästä lupaprosessista sen jälkeen, kun lupa on myönnetty.

### Oppia tuleviin purku-urakoihin

Viime vuonna VTT teki Fortumin kanssa sopimuksen reaktorin purkamisesta ja muista käytöstäpoiston palveluista. Fortum aloittaa FiR 1 -reaktorin purkamisen vuoden 2022 lopulla.

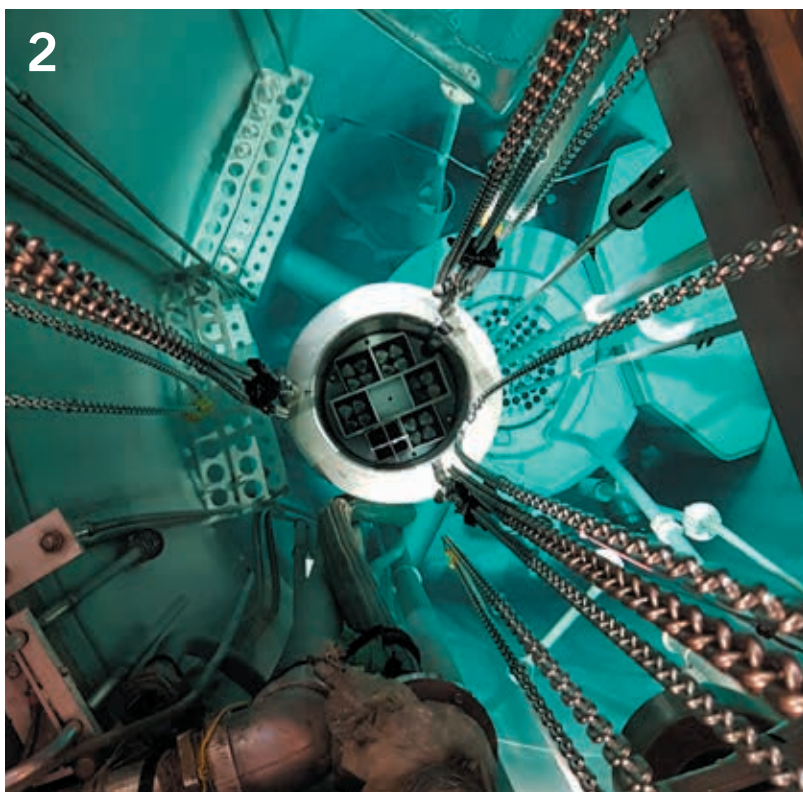
Vuonna 1962 käyttöön otettu FiR 1 -reaktori auttoi monivaiheisen historiansa aikana mm. kuukivien tutkimuksessa, kulan etsinnässä, syöpähoidoissa ja ennen kaikkea se on toiminut keskeisenä ydinenergian koulutus- ja tutkimustyön laitoksena.

Tässä yhteydessä VTT haluaa esittää kiitoksensa siitä tuesta, jota suomalainen atomivoimayhteisö on antanut reaktorin käytöstäpoiston toteuttamiseksi turvallisesti Otaniemen kampuksella ja ydinjätehuollon järjestämiseksi. Työ jatkuu, ja tutkimusreaktori toimii pilotina vielä purkuvaiheessaankin valmistuen kaikkia suomalaisia toimijoita myöhemmin tulevaisuudessa alkavaan tehoreaktorien käytöstä poistamiseen.

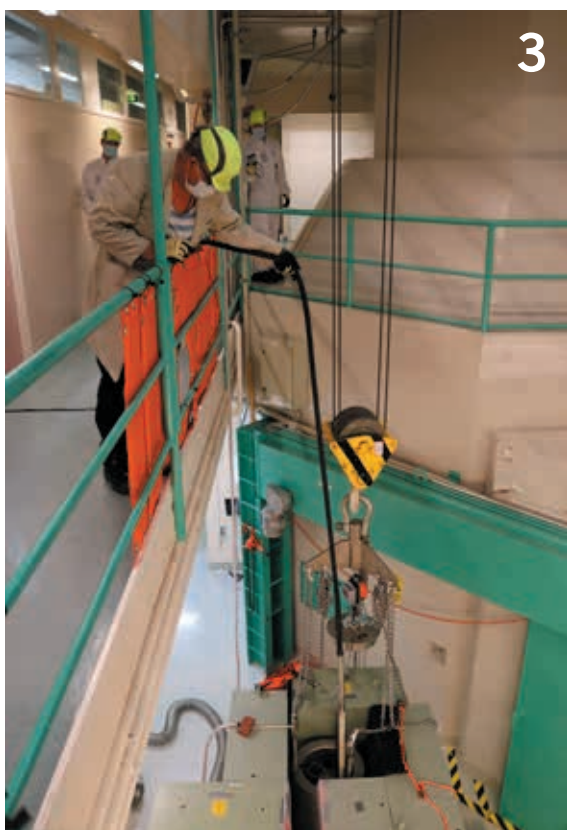
Maailmalla käytöstäpoisto on jo nyt ajankohtaista useiden maiden päätettyä luopua ydinenergiasta. VTT on myös koonnut yhteen useiden suomalaisten yritysten osaamista erilliseen dECOMm-hankkeeseen, joka tähtää kansainvälisille ydinvoimaloiden purkumarkkinoille. Kyseinen ekosysteemihaanke esitellään toisaalla tässä numerossa. 



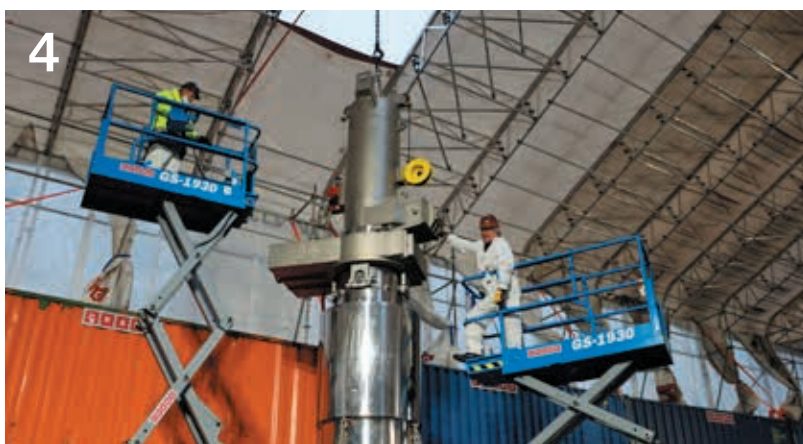
1



2



3



4

# Fortumin, TVO:n ja Fennovoiman kelpoistusyhteistyöhanke edennyt käyttöönottoon

Voimayhtiöiden yhteinen KELPO-projekti on edennyt yhteismenettelyjen ja digitaalisen alustan käyttöönottoon. KELPO-yhteistoimintamallia on valmisteltu voimayhtiöiden ja STUKin vuorovaikutuksellisessa yhteistyössä vuodesta 2018 alkaen. Yhteistoimintamalliin liittyviä menettelyjä on testattu pilotoimalla menettelyitä mekaanisissa ja sähkö- ja automaatioteknisissä pilottiprojekteissa, jotka aloitettiin vuonna 2019. Pilotoinnin kautta testatut menettelyt on dokumentoitu vuoden 2020 aikana menettelykuvauksiin ja -ohjeisiin, ja voimayhtiöt ovat hankkineet yhteisen digitaalisen alustan tukemaan yhteistyötä. Vuoden 2020 aikana menettelyjen käytännön testaamista jatkettiin valituissa case-hankintatapauksissa. Menettelyjä ollaan ottamassa voimayhtiöissä laajemmin käyttöön alkuvuonna 2021.

**Teksti:** Leena Aarnio-Wihuri, Kari Pihala, Satu Sipola, Marko Juola

**Kuvat:** Raisa Ranta (Marko Juolan kirjoittajakuva)

**KELPO-YHTEISTOIMINNALLA TARKOITETAAN** voimayhtiöiden (TVO, Fortum, Fennovoima) yhteistyötä, jonka tavoitteena on edistää korkealuokkaisten standardinmukaisten sarjavalmistestien laitteiden käyttöä, yhtenäistää laitevaatimuksia ja harmonisoida menettelyjä laitetoimittajien ja Säteilyturvakeskuksen (STUK) suuntaan. Nämä toimet ovat tärkeitä, jotta voidaan varmistaa korkealuokkaisten laitteiden saatavuus ja siten hyvä turvallisuuskehitys muuttuvassa toimintaympäristössä, kohdentaa voimavarat oleellisiin asioihin karsimalla päällekkäistä työtä sekä parantaa kustannustehokkuutta.

KELPO-yhteistyö aloitettiin vuonna 2018. Vuoden 2018 aikana luotiin perusajatus siitä, miten luvanhaltijoiden yhteistyöllä voidaan vähentää päällekkäistä työtä alemman turvallisuusluokan laitteiden hankintaprosesseissa. Erityisesti huomio kiinnittyi keinoihin, joilla



**DI, EMBA Leena Aarnio-Wihuri**  
KELPO Co-operation  
Project Manager  
Fortum Power and Heat Oy  
leena.aarnio-wihuri@fortum.com



**BSc. Kari Pihala**  
Power Plant Engineer,  
KELPO responsible  
Teollisuuden Voima Oyj  
kari.pihala@tvo.fi



**DI Satu Sipola**  
Fortum KELPO Project Manager  
Fortum Power and Heat Oy  
satu.sipola@fortum.com

## KELPO-huoneentaulu

Kehitämme turvallisuutta  
graded approach -mallilla.

Hankimme  
laadukkaita, ensisijaisesti  
sarjavalmisteisia laitteita.

Helpotamme yhtenäisillä  
laitevaatimusmäärittelyillä ja  
hyväksymismenettelyillä  
kaikkien sidosryhmien työtä  
ja varmistamme toimittajien  
kiinnostuksen meitä kohtaan.

Pääsääntöisesti  
huolehdimme itse  
ydinvoimaspesifisestä  
kelpoistamisesta.

Hyödynnämme tehokkaasti  
KELPO-toimintatavoilla  
tuotettuja teknisiä aineistoja  
yhteisen digitaalisen  
alustan kautta.

Sovellamme  
KELPO-periaatteita  
kaikilla tekniikanaloilla.

fortum tvo FENNO VOIMA

voidaan lisätä voimayhtiöiden yhteistyötä ja mahdollistaa mekaanisten standardinmukaisen sarjavalmisteisten laitteiden laajempi käyttö. Kehitystyö jatkui pilotointivaiheella vuonna 2019. ATS Ydintekniikka -lehden numerossa 1/2020 onkin kuvattu KELPO-projektin vaiheita vuosien 2018 ja 2019 aikana.



**DI Marko Juola**  
I&C Instrumentation Engineer,  
KELPO coordinator  
Fennovoima Oy  
marko.juola@fennovoima.fi

### Yhteisomisteinen digitaalinen alusta ja vahva yhteys käytännön työhön case-tapausten kautta

Vuoden 2020 aikana KELPO-menettelyjä on sovellettu hyvällä menestyksellä projektin puitteissa KELPO Case -hankintatapauksissa. Vuoden 2020 aikana on ollut käynnissä kolme case-tapausta, joissa on pohdittu menettelyjä ohjelmoitavaa automaatiota sisältävän yksinkertaisen sähkölaitteen kelpoistamiseen ja laadittu voimayhtiöiden yhteiset vaatimusmäärittelyt standardinmukaiselle sarjavalmisteiselle pumpulle ja varoventtiilille. Lisäksi pilotoinnin aikana laaditun standardinmukaisen sarjavalmisteisen käsikäyttöisen venttiilin vaatimusmäärittelyn soveltamista on edelleen jatkotestattu.

Case-tapaukset ovat olleet tärkeässä roolissa, kun yhteisistä menettelyistä on laadittu menettelykuvauksia ja -ohjeita, jotka mahdollistavat menettelyjen laajemmän käyttöönoton. Vuorovaikutuksellinen yhteistyö viranomaisen kanssa on ollut tärkeässä roolissa case-tapauksissa ja menettelykuvausten laadinnassa.

Case-tapausten toteuttamisen ja menettelykuvausten laadinnan rinnalla on tehty määrittelyt yhteisomisteisen digitaalisen alustan hankintaa varten ja edetty hankintaprosessissa Sarake Oy:n kanssa. Digitaalisella alustalla hallitaan laitekelpoistuksiin liittyvää tietoa, joka on kaikkien voimayhtiöiden yhteisessä käytössä ja johon myös STUKilla on pääsy.

Uusi toimintatapa ja digitaalinen alusta otetaan voimayhtiöissä käyttöön alkuvuoden 2021 aikana vaiheittain jatkamalla case-kohdasta etenemistä. Luvanhaltijoiden kartoittamat hankintatapaukset käsitellään yhdessä, tiimiytetään ja viedään läpi tapauskohtaisesti. Kertyvien kokemusten perusteella KELPO-ohjeistusta kehitetään edelleen.

Tärkeä etappi saavutettiin helmikuun alussa, kun digitaalinen alusta otettiin käyttöön. Järjestelmän käyttö ja jatkokehitys tapahtuu ainutlaatuisesti kolmen voimayhtiön ja toimittajan yhteistyössä. Toimittaja tuottaa sovelluksen ylläpidon ja teknisen tuen kokonaisvaltaisena Software as a Service -palveluna.

KELPO-hankkeessa yhtenäistetään voimayhtiöiden laitehankinnan teknisiä vaatimuksia

ja dokumentaatiota sekä edistetään valmistaja- ja laitehyväksyntää koskevaa tiedonvaihtoa voimayhtiöiden kesken. Yhteistyössä on huomioitu kilpailulainsäädännön rajoitukset.

Uudet KELPO-menettelyt koskevat alemman turvallisuusluokan laitteiden hankintojen luvitus- ja hyväksymismenettelyjä. Yhteistyö rajoittuu ydinvoimalaitokseen hankittavien laitteiden teknisiin ja turvallisuuteen liittyviin asioihin sekä näihin liittyviin hyväksyttämissiin. Kaupallisia asioita ei käsitellä yhdessä eikä jaeta toisille.

KELPO-menettelyjen tavoitteena on ensisijaisesti käyttää sarjavalmistaisia standardilaitteita turvallisuusluokassa 3 ja turvallisuusluokan 2 matalaenergisissä laitepaikoissa. Näin toimien:

- mahdollistetaan toimittajaverkoston laajentaminen
- varmistetaan korkealaatuisten laitteiden saatavuus muuttuvassa toimintaympäristössä
- saavutetaan merkittävästi lyhyemmät toimitusajat
- ja saavutetaan mahdollisesti huomattavia kustannussäästöjä.

### **Mekaanisten laitteiden KELPO-menettelyt**

KELPO-menettelyssä voimayhtiöiden yhteisesti laatima sarjavalmistaisen standardilaitteen laitevaatimusmäärittely ja siinä määritelty vaatimusdokumentit sekä hankinnan menettelyt vastaavat YVL-ohjeen mukaisen menettelyn sisältöä ja vaatimuksia.

Laiteryhmäkohtaisesti laadittavissa laitevaatimusmäärittelyissä laitteen valmistajalle, suunnittelulle, valmistukselle, testaukselle sekä tarkastukselle määritellään vaatimukset, joiden täytyessä valmistajan normaalilla valmistusprosessilla laitteet voidaan hankkia sellaisenaan.

Laitevaatimusmäärittelyn liitteenä olevaan tietolomakkeeseen täydennetään laitepaikan suunnitteluarvot sekä mahdolliset ydinvoimala-alan liittyvät lisävaatimukset. Toisena liitteenä olevassa laadunvalvontavaatimuk-

sesa määritellään materiaalien ainestodistusvaatimukset, edellytetty testaus, valmiille laitteelle suoritettavat testit sekä muut raportit, jotka edellytetään liitettäväksi tuotteen toimitukseen. Erillistä laitekohtaista rakennesuunnitelmaa ei sarjavalmistajien standardilaitteiden KELPO-menettelyssä enää laadita, vaan hyödynnetään täysimääräisesti toimittajan koetellut menettelyt laitteen suunnittelussa ja valmistuksessa sekä valmistuksen normaalit standardinmukaiset tarkastusmenettelyt.

Toimituksen vaatimustenmukaisuus todennetaan voimayhtiön ja STUKin tai auktorisoidun tarkastuslaitoksen (AIO) suorittamassa vastaanottotarkastuksessa perustuen STUKin hyväksymän laitevaatimusmäärittelyn vaatimuksiin. Asennuksen rakennesuunnitelmat ja käyttöönottosuunnitelmat tehdään nykyisten käytäntöjen mukaisesti, eivätkä nämä kuulu KELPO-kehitystyön piiriin.

Tällä hetkellä STUKin hyväksymiä sarjavalmistajien standardilaitteen laitevaatimusmäärittelyjä on käsikäyttöisille venttiileille sekä keskipakopumpuille turvallisuusluokan 3 sekä turvallisuusluokan 2 matalaenergiisiin soveluksiin. Työn alla on varoventtiilien laitevaatimusmäärittely, jonka on tarkoitus valmistua kevään 2021 aikana.

### **Sähkö- ja automaatiolaitteiden kelpoistusyhteistyö**

Sähkö- ja automaatiopuolella KELPO-menettelyillä lisätään voimayhtiöiden yhteistyötä ja tiedonjakoa digitaalisen alustan avulla. Näin helpotetaan kelpoistusaineistojen laadintaa ja mahdollistetaan yhteisten aineistojen käyttö.

Projektissa on käyty laajasti keskustelua menettelytavoista STUKin kanssa ja tehty voimayhtiöiden yhteisiä linjauksia YVL-ohjeiden soveltamisen suhteen. STUKilta on haettu YVL-ohjepoikkeamia laitteiden soveltuvuusarvioiden toimittamiseen ja yksinkertaisten ohjelmoitavien laitteiden kelpoistukseen liittyen.

Sähkömoottoreiden osalta vaatimukset on päivitetty uusien YVL-ohjeiden mahdollistamalla tavalla. Tällä saadaan vähennettyä kelpoistusdokumentaation määrää merkittävästi

ja lyhennettyä moottoreiden toimitusaika jopa kolmasosaan aiemmasta.

### **Yhteistyö jatkuu**

KELPO-menettelyt otetaan käyttöön hallitusti hankintatapausten toteuttamisen kautta. Vuoden 2021 aikana tavoitteena on menettelyjen vakiinnuttaminen käyttöön ja luodun yhteistyömallin jatkokehitys ja soveltaminen erilaisissa hankintatapauksissa. Nyt myös Posiva on liittynyt mukaan yhteistyöhön.

Menettelyjen soveltaminen laitehankinnossa ja yhteistyön tekeminen erilaisissa toimittajayhteistyöissä ja esimerkiksi tarkastuslaitosten käyttöön liittyvissä yhteistyötapahtumissa jatkuu. Pääpaino käytännön tekemisestä siirtyy vähitellen projektiorganisaatiolta voimayhtiöiden linjaorganisaatioille. Myös kansainvälistä kehitystä seurataan ja siihen osallistutaan.

# Kilpajuoksu kohti fuusiotuottoa käynnistynyt – kilpailijoilla eri matkat ja tavoiteajat

Taina Kurki-Suonio  
Aalto-yliopisto

Fuusioenergian valjastaminen on vienyt monta tiedemiestä hautaan – yksi sukupolvi on osoittautunut liian lyhyeksi ajaksi tavoitteen saavuttamisessa. ITERin rakennusprojektikaan ei etene kvartaalitalouden määräämässä tahdissa, joten kärsimättömyys on käsinkosketeltavaa. Kyseessä on kuitenkin sellainen ässä taistelussa CO<sub>2</sub>-päästöjä vastaan, ettei tätä kورتtia ole varaa jättää kääntämättä. Onneksi viime vuosina ITERin rinnalle on alkanut nousta ”vauhtijäniksiä”, joista esittelen tässä uskottavimmat.

One generation has proven to be a 'blink of an eye' in harnessing fusion energy, and the construction of ITER is frustrating many since it does not proceed at the speed characteristic of the quartal economy. But facing the consequences of run-away climate change, it is clear that fusion energy can provide such an ace in the fight against it that we cannot afford to leave this card unturned. Fortunately, over the past few years several speedsters have emerged, to run parallel to ITER. Here I shall introduce the most credible enterprises.

Etelä-Ranskan Cadarachessa ITERin, maailman ensimmäisen fuusioreaktorin, rakennustyöt ovat edenneet jo laitteiston asentamisvaiheeseen (kuva 1). Tämä ei kuitenkaan ole johtanut suurempiin juhliin johtuen projektin aikataulusta – ITERiä tehdään kuin lisäkinkirkkoa.



Kuva 1. Lämpösuojan 50 tonnia painava alaosa matkalla loppusijoituspaikkaansa matkustusnopeudella 2 m/min (kuva: ITER).

Valmistelun voidaan katsoa alkaneen jo vuonna 1985, rakentaminen pääsi alkuun vuonna 2007 valtavan montun kaivamisella, ja ensimmäisen plasman pitäisi nähdä päivänvalo vuonna 2025. Hitaus ei kuitenkaan tarkoita laiskuutta: ITER on historian kallein tieteellinen koe, jonka hintalapuksi arvioidaan noin 20 miljardia euroa, joten sen käyttöönotto tehdään vaiheittain ja varmistellen. Niinpä ensimmäinen, oikeaa deuterium-tritium-polttoainetta käyttävä plasma nähdään vasta 2035.

Tällaiset odotusajat eivät tyydytä kaikkia. Lisää kiireen tuntua antavat myös kiihtyvä ilmastonmuutos ja kokemukset uusiutuvien energiamuotojen käytännön kyvystä tyydyttää pitkälle sähköistyneen yhteiskunnan tehontarvetta. Erityisesti Saksan kunnianhimoisen Energiewenden tulokset tuleekin ulosmitata täysmääräisesti ja ilman poliittista agendaa.

Maailmalla on alkanut syntyä ITERille haastajia, jotka pyrkivät saamaan toimivan fuusion aikaan nopeammin. Tosin mielestäni ”haastaja”-sana on harhaanjohtava. Tyypillistä näille uusille projekteille on nimittäin uusien, riskialttiiden teknologioiden hyödyntäminen, kun taas ITERissä pelataan varman päälle.

Lisäksi monet haastajista eivät edes pyri saavuttamaan kaikkia ITERin tavoitteita, vaan keskittyvät demonstroimaan vain jonkun tietyn kriittisen osa-alueen toimivuuden mutta tekemään sen nopealla aikataululla. Siksi näen nämä projektit äärimmäisen tärkeinä myös ITERin hyödyntämisen kannalta. Riippumatta siitä onnistuvatko haastajat tavoitteissaan, ne tulevat antamaan tärkeitä tuloksia, joiden pe-

rusteella ITERin käyttöä voidaan optimoida ja välttää mahdollisia sudenkuoppia.

### Kilpajuoksun osallistujat

Esittelen tässä artikkelissa viisi projektia eri puolilla maailmaa, joita ollaan toteuttamassa rinnakkain ITERin kanssa ja joita pidän uskottavina.

Kolme näistä vastaa yllä olevaa kuvausta kompaktista, aggressiivisella aikataululla toteuttavasta projektista, joka perustuu hyvin tuoreeseen teknologiaan, tässä tapauksessa ”korkean” lämpötilan (HTS) suprajohteisiin. Mistään huoneenlämpötilasta ei tässäkään ole kyse, mutta ero perinteisiin suprajohteisiin on merkittävä: näitä suprajohteita ei tarvitse jäähdyttää nesteheliumilla, vaan nestetyppi riittää. Uuden sukupolven HTS-magneetit mahdollistavat operoinnin erittäin suurilla kentän arvoilla.

Riskialtis teknologia ei ole pelkkä riski vaan myös mahdollisuus: projekteissa on rinnakkaisena tavoitteena tutkia ja demonstroida näitä lupaavia suprajohteita, joille löytyy valtavasti sovelluksia fuusion ulkopuoleltakin. Tällaisia projekteja ovat yksityisrahoituksella pyörivä Tokamak Energy Ltd (TE) Englannissa sekä osittain yksityisellä rahalla toteutettava SPARC MIT:ssä, Yhdysvalloissa. Kolmantena koplassa on Englannissa suunnitteilla oleva STEP-projekti, jolla on omat magneetteihin liittyvät innovaationsa, mutta joka vielä tässä vaiheessa on puhtaasti paperitiikeri.

Neljäs projekti on Kiinassa eikä se ole pieni, mutta todennäköisesti se toteutetaan kunnianhimoisella aikataululla, kuten Kiinassa on tapana. Kyseessä on CFETR, Chinese Fusion Energy Test Reactor. Siinä missä edellä mainituilla on rajoitetut tavoitteet, CFETR pyrkii omissaan jo ITERiä pidemmälle.

Oikeampi kilpakumppani CFETR:lle onkin European DEMO, nimensä mukaisesti demonstraatiolaitos, jossa osoitetaan jo fuusioreaktorin sähköntuotanto-ominaisuudet. Tämän laitteen suunnittelu onkin juuri alkaneen EUROfusionin 9. puiteohjelman (FP9) tärkein tavoite, ja otan myös sen tässä käsittelyyn.

Ennen kuin jatkan eri projektien kuvaamista, haluan huomauttaa, että Suomella on sormensa melkein joka sopassa. Luonnollisesti olemme mukana EUROfusionin DEMO-suunnittelussa, mutta lisäksi kaksi Aalto-yliopistosta valmistunutta nuorta tutkijaa, Otto Asunta ja Jari Varje, laskevat plasman kuumennusta ja fuusiotuotteiden koossapitoa TE:n pallotokamakeille. Myös SPARCin nopeita ioneja mallinnetaan Aalossa kehitetyllä ASCOT-ohjelmistolla, johon MIT on allekirjoittanut käyttölisenssin.



Kuva 2. Vasemmalla ST40-pallotokamak, oikealla ennätysmagneetti: 24,4 teslaa 21 kelvinin lämpötilassa [2] (kuvat: Tokamak Energy).

Hieman muistin virkistystä lukijoillemme, jotka eivät fuusiota harasta: tässä esitetty fuusiotutkimus perustuu magneettiseen koossapitoon, mihin tarvitaan useiden teslojen suuria kenttiä. Magneetit ovat fuusiolaitteiden kirkkaasti kallein komponentti. Siksi yllä (ja alla) oleva keskustelu suprajohteista. Toinen tärkeä komponentti on kuumennusmenetelmä, jolla polttoaine saadaan fuusioreaktioiden vaatimiin, satojen miljoonien asteiden lämpötilaan. Kolmas kriittinen komponentti on reaktorin laskiämpäri, jota myös diverttoriksi kutsutaan. Tässä kirjoituksessa kaksi jälkimmäistä jäävät kuitenkin lapsipuolen asemaan.

Esittelen nyt lyhyesti fuusiotutkimuksen uudet tähti projektit siinä järjestyksessä, missä ne tällä hetkellä vaikuttavat toteuttamisessaan olevan. Tosin Kiinan CFETR-projektin tilanteesta on vaikeampi olla varma.

### Tokamak Energy Ltd [1], perustettu vuonna 2009

Tokamak Energy Ltd:n perustivat vuonna 2009 pitkän akateemisen uran tokamakien parissa tehneet Mikhail Gryaznevich and Alan Sykes. Firman etusivulla on kunnianhimoinen tavoite: ”Clean and abundant fusion power by 2030”. Jos nyt miettii, kuinka kauan perinteistä OL3-laitosta on rakennettu, lienee kaikille selvää, että tuon ovat kirjoittaneet PR-ihmiset, eivät tiedemiehet. Mutta täysin mahdollisuuksien rajoissa on kyllä se, että TE onnistuu tieteellisissä ja teknisissä tavoitteissaan.

Reaktorikonsepti on tavallaan viritetty versio perustokamakista: siinä rinkiä reikä on minimoitu, jolloin laitteen geometria muistuttaa enemmän omenaa, jonka siemenkoti on poistettu. Konseptia kutsutaankin pallotokamakiksi (Spherical Tokamak, ST), ja näistä on jo kokemusta eri puolilla maailmaa, mm. CCFE:llä (Culham Centre for Fusion Energy), josta edellä mainitut herrat ovat lähtöisin.

Kehitystyön strategia poikkeaa akateemisesta työstä: TE:llä ei pyritä ymmärtämään kaikkia ilmiöitä pohjia myöten, vaan eteenpäin siirtämään aina, kun jotain on saatu demonstroitua. Niinpä kun firman ensimmäinen kokeellinen laite, ST25 (missä luku kertoo laitteen koosta senttimetreissä), tuotti ja piti koossa kuumen plasman jo vuonna 2012, tämä riitti osoittamaan valittujen insinööritratkaisujen toimivuuden, joten kookkaamman ST40-laitteen rakentaminen aloitettiin välittömästi (kuva 2). Suomeenkin tästä projektista ropisi jotain tuloja: magneeteissa käytettiin nimittäin Luvatan kuparia.

Ensimmäiset plasmakokeet ST40:llä ajettiin vain kuusi vuotta myöhemmin varsin hyvin tuloksin: plasman lämpötila saatiin suurienergisillä neutraalisuihkuilla (NBI) nostettua auringon sisuskaluja kuumemmaksi. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että tavoite olisi saavutettu – vasta nyt TE voi alkaa kokonaisvaltaisesti selvittää, käyttäytyykö pallomainen plasma



teorian ennustamalla tavalla ja tarjoaako tämä geometria yhdistettynä suprajohdeiden mahdollistamiin suurempiin magneettikenttiin nopeamman reitin kaupalliseen fuusioenergiaan. Kehitystyön reippaudesta osoituksena kerrottakoon vielä, että onnistuneiden kokeiden jälkeen TE muutti väljempiin tiloihin ja sai ST40-laitteiston purettua, koottua ja toimimaan vain yhdeksässä kuukaudessa.

Lopullinen tavoite eli pallotokamakin energiantuotantosoveltuvuuden osoittaminen tullaan saavuttamaan vasta seuraavassa laitteessa, jota nyt jo suunnitellaan. Sen nimeksi tulee joko ST-F1 tai ST-E1 riippuen siitä, tuleeko sen painopisteeksi itse 'Fuusio' vai sen mahdollistava 'Engineering' eli teknologia.

Koska kyseessä on yksityisellä rahalla tehtävä perustutkimus, TE ei voi laittaa kultamuniaan yhteen koriin, vaan sen on varmistettava, että positiivisia tuloksia saadaan jostain tutkimushaarasta. Siksi korkean lämpötilan ja korkean kentän suprajohdeiden kehitystyö kulkee koko ajan fuusiotutkimuksen rinnalla. Vuonna 2019 TE julkisti saavuttaneensa 24,4 teslan kentän ReBCO-suprajohdeesta kierrettyillä keloillaan lämpötilan ollessa huikeat 21 kelviniä [2]. Kyse oli kuitenkin vasta pienestä pöytämallista (kuva 2), joten seuraavaksi pitää osoittaa magneettien toimivuus fuusiolaitteen kokoluokassa.

Tähän mennessä TE on ollut menestystarina vailla vertaa: se on onnistunut keräämään yksityistä ja julkista rahoitusta (myös kansainvälistä, mm. US Department of Energy'n 2020 INFUSE-ohjelmasta) jo yli 130 miljoonaa puntia.

### SPARC [3], Massachusetts, USA

Syyskuun lopussa 2020 kansainvälinen media yhtäkkiä tulvi fuusio-uutisia: mm. New York Times, Washington Post ja Guardian julkaisivat näkyviä artikkeleja fuusiolaitteesta nimeltä SPARC, jota suunnitellaan Massachusetts Institute of Technologyn (MIT) ja Commonwealth Fusion Systems (CFS) -nimisen yrityksen yhteistyönä. SPARC (kuva 3) on geometrialtaan perinteinen tokamak ja mitoitaan ( $R = 1,65$  m,  $a = 50$  cm) käytännössä identtinen jo pitkään käytössä olleiden saksalaisen ASDEX Upgrade- ja amerikkalaisen DIII-D-tokamakin kanssa.

Tässä  $R$  mittaa plasman keskustan etäisyyttä rinkiin keskipisteestä, ja  $a$  on plasman säde.

Strategiansa SPARC näyttää omaksuneen TE:ltä siinä mielessä, että perustutkimuksen sijasta ollaan rakentamassa demonstraatiolaitosta, jolla on tarkoitus kehittää hyvin nopealla aikataululla suuria, korkean lämpötilan suprajohdavia magneetteja. Niiden luomilla valtavilla kentillä voitaisiin osoittaa fuusioenergian tuotto pienessä reaktorissa. ITERin kokoon ( $R = 6,2$  m,  $a = 2$  m) verrattuna sitä voidaan nimittäin perustellusti kutsua kompaktiksi reaktoriksi.

SPARC-projekti aloitti suunnittelutyöt vuonna 2018, rakennustyöt on tarkoitus aloittaa jo kuluvan vuoden kesäkuussa, ja fuusion pitäisi olla käynnissä jo vuonna 2025. Neljään vuoteen pitäisi siis mahduttaa paitsi rakennustyöt ja käyttöönotto myös suurten, suuren kentän HTS-magneettien rakentaminen ja testaus.

Magneeteissaan MIT aikoo käyttää YBCO-suprajohdeita, ja niillä on tarkoitus saavuttaa plasmassa 12 teslan kenttä. Näin vahvan magneettikentän pitäisi pystyä hallitsemaan niin kuuma plasma, että fuusiotuotto olisi 50–100 MW, mikä näin pienellä laitteella vastaisi 'energian monistusarvoa'  $Q = 2$ . Muistutettakoon, että vastaavat suunnitteluarvot ITERille ovat 500 MW ja  $Q = 10$ . Plasman kuumennukseen SPARC ei aio käyttää neutraalisuihkuja vaan radiotaajuusaaltoja (ICRH). Molemmista kuumennustavoissa on omat etunsa ja haittansa, joten näiden kahden projektin (TE ja SPARC) tulokset saattavat paljastaa todellisen voittajan.

SPARCin riskimarginaali on luultavasti kapeampi kuin ST40-laitteella, koska SPARCin piirustukset perustuvat kymmenien vuosien kokemukseen perinteisillä tokamakeilla. SPARC-tiimi onkin julkaissut suunnitelmansa kokoelmana vertaisarvioituja tieteellisiä artikkeleja [4]. Pallotokamakin tapauksessa joudutaan ekstrapoloimaan enemmän niukemmasta olemassa olevasta datasta ja teoriatyöstä.

### Britannian atomienergiaviranomaisen oma STEP-hanke [5]

Lokakuussa 2019 Britannian hallitus päätti alustavasta 220 miljoonan punnan rahoituksesta, jolla tulisi luoda konseptitason suunnitelma



Kuva 3. Taiteilijan näkemys SPARC-kooreaktorista, mistä käy hyvin ilmi laitteen mittakaava (kuva: T. Henderson, CFS).



Kuva 4. Taiteilijan näkemys STEP-reaktorista, joka perustuu pallotokamak-periaatteelle. Laitoksen sijoituspäätös tehtäen vielä kuluvana vuonna (kuva: UKAEA).

fuusiovoimalan prototyypille vuoteen 2024 mennessä ja jonka pitäisi käynnistyä vuonna 2040. Vuoteen 2024 mennessä pitäisi olla myös selvitettyä markkinatilanne ja ”mahdollistaa ja inspiroida Britannian kykyä ja kapasiteettia toteuttaa projekti”. Projektin nimeksi tuli STEP (Spherical Tokamak for Energy Production), joten se nimensä mukaisesti perustuu pallotokamak-periaatteelle.

STEPin tavoitteet menevät siis vielä pitemmälle kuin TE:n tai MIT:n. Tämän prototyypin on tarkoitus olla ensimmäinen fuusiovoimala, joka tuottaa sähköä, joten siihen on rakennettava mukaan kaikki toimivan voimalaitoksen komponentit turbiineja myöten (kuva 4). Fuusiotuoton pitäisi olla gigawatteja. On vaikea päättää, mitä tunteita nämä tavoitteet yhdistettynä kunnianhimoiseen aikatauluun herättävät, varsinkin jos huomioi Brexitin jälkeiset epävarmuudet.

Vaikka skeptisyyteni projektin toteutumista kohtaan lienee ilmeinen, ei pidä heittää lasta pesuveden mukana: STEP-konseptissa on monia lupaavia ja kiinnostavia yksityiskohtia, joista ehkä tärkeimmät liittyvät voimalan huoltoon, ylläpitoon ja komponenttien vaihtoon. Itse fuusioplasman suhteenhan STEPin haasteet ja mahdollisuudet ovat samat kuin ST40:illä.

Projektissa painotetaan pallomaisen geometrian tuomia teknologisia etuja: pienemmät magneetit tuovat kustannussäästöjä, edistyskellinen super-X-diverttori istuu luontevasti konseptiin, ja sisäreunan vaipan puuttuminen helpottaa etähuoltoa. Tosin samasta syystä pallotokamakkeissa voi olla varsin haasteellista hyötää riittävästi tritiumia. Ja vaikka kompaktius tarkoittaakin säästöjä lähes kaikessa, on toisessa vaakakupissa avoin kysymys materiaalien kestävydestä, kun neutronikuorma osuu pienemmälle pinta-alalle.

Edistyneen, innovatiivisen teknologian todentaminen vaikuttaakin

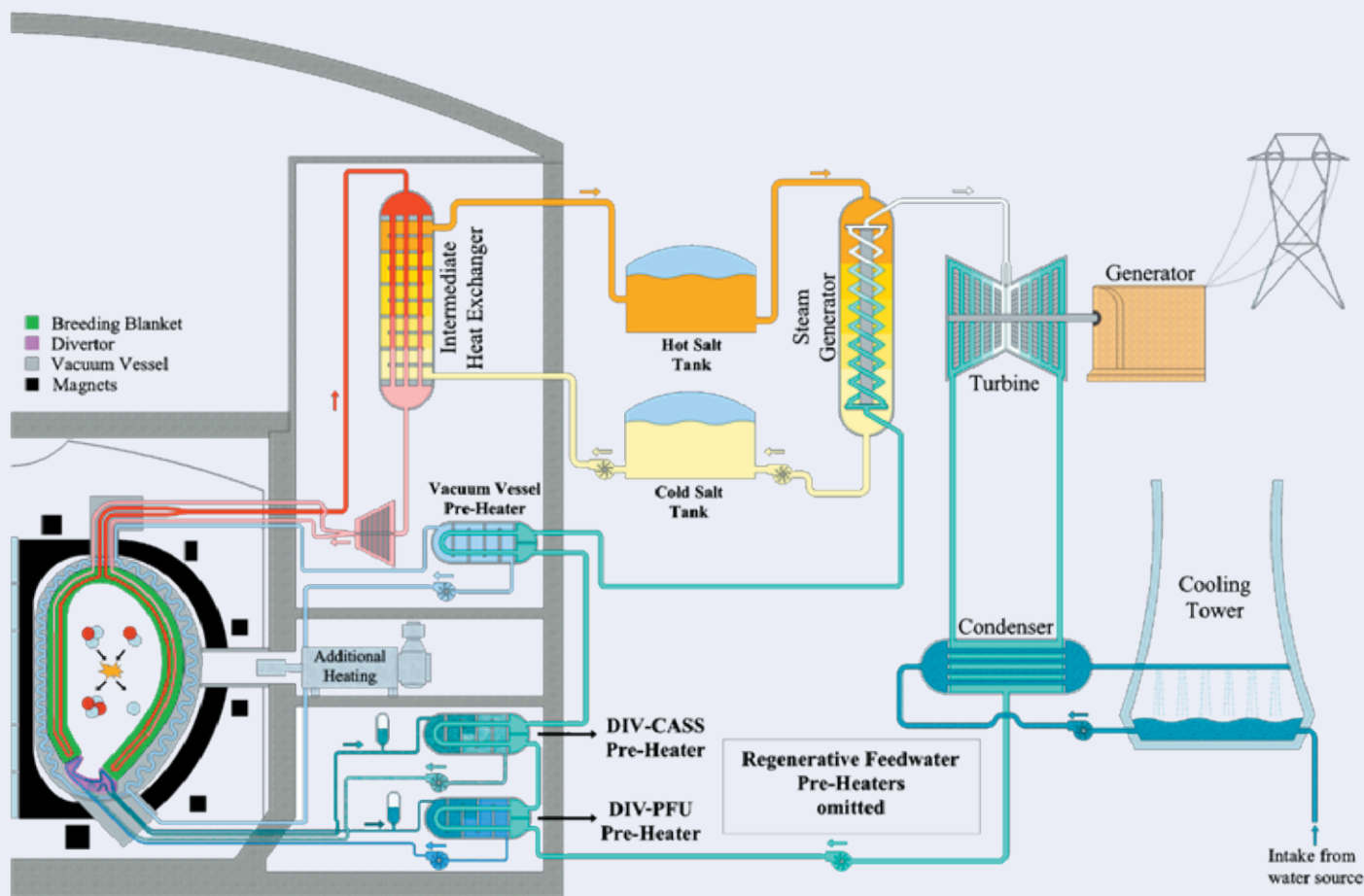
olevan projektin fokuksessa. Ehkä kaikkein kiinnostavin niistä liittyy huoltoon ja komponenttien vaihtamiseen: laitos on suunniteltu SMR:ien tavoin rakennettavaksi maan alle, jolloin huoltotoimet tehdään sen yläpuolella olevasta rakennuksesta käsin. Tätä varten kehitellään magneetteja, joissa on irrotettava ja uudelleen kiinnitettävä liitos. Onnistuessaan tällaisesta rakenteesta hyötyisi mikä tahansa konsepti.

### CFETR, Kiina

Kiinan tieteellisistä ja teknologisista projekteista ei yleensä tehdä nettiin hienoja esittelysivuja, eikä China Fusion Engineering Test Reactor (CFETR) ole tästä mikään poikkeus. Niinpä länsimaat elävät usein kalvavassa epätietoisuudessa, onko tietyssä tapauksessa kyse kansallisesta pullistelusta vai onko Kiina mahdollisesti jo muita edellä. CFETR:n tapauksessa tilanne on kuitenkin vähän läpinäkyvämpi. Joulukuun 18. päivä vuonna 2018 China Daily kertoi paitsi CFETR:ään liittyvien rakennustöiden alkaneen Hefeissä myös kansainvälisen keskuksen perustamisesta [6].

Tämä International Fusion Energy Cooperation Center koostuu yli 30 fuusiotutkijasta eri puolilta maailmaa ja sen johdossa on Tony Taylor General Atomicsilta Kaliforniasta. Lisäksi CFETR:n tieteellisistä tavoitteista ja teknologisista ratkaisuista on julkaistu vertaisarvioitu artikkeli alan arvostetuimmassa lehdessä [7].

CFETR ei ole kompakti laitos eikä sitä olla rakentamassa hätäisesti. Se edustaa perinteistä tokamak-linjaa ja on ITERin kokoluokkaa. Sen tavoitteeksi on asetettu vastata ITERin avoimiksi jättämiin kysymyksiin DEMO-voimalaitosta rakennettaessa. CFETR:lle suunnitellaan kaksi käyttövaihtetta, joilla on eri painopistealueet. Ensimmäisessä vaiheessa



Kuva 5. Sähköä tuottavan fuusioreaktorin tärkeimmät komponentit [8].

pyritään osoittamaan, että tokamakia voidaan operoida jatkuvatoimisesti, ja että tritiumin hyötämisen käytön aikana on riittävän tehokasta, jotta tokamak-reaktori pystyy sivutuotteena generoimaan oman polttoaineensa. On huomattavaa, ettei mikään edellä kuvatuista ja paljon julkisuutta saaneista projekteista edes yritä vastata näihin kysymyksiin, jotka kuitenkin ovat edellytys fuusiovoimalan kaupallistamiselle. Vasta jälkimmäisessä käyttövaiheessa pyritään suuriin fuusiotuottoihin, jolloin tavoitteena on jatkuva 1 GW fuusioteho ja  $Q > 12$ .

Aikataulu ei ole hätäinen mutta silti kunnianhimoinen ottaen huomioon projektin moninaiset tavoitteet. Erityisen tärkeänä haasteena näen tritiumiin ja sen hyötämiseen liittyvät kysymykset, jotka ovat tähän mennessä jääneet fuusiotutkimuksessa sivuraiteelle. Rakennustöiden pitäisi alkaa kuluvana vuonna, ja CFETR:n pitäisi olla valmis täysimittaisiin kokeisiin 2035 mennessä. Suunnitelmat yltyvät vielä pitemmälle: jos CFETR ratkaisee jäljellä olevat haasteet, Kiina arvioi kaupallisen fuusiovoimalan rakennustöiden alkavan ennen vuosisadan puoliväliä.

Lapio on siis isketty maahan jo joulukuussa 2018, mutta siellä ei itse asiassa rakenneta vielä itse CFETR-laitosta, vaan rakennuskohte on Comprehensive Research Facilities in Support of CFETR. Sen tutkimuskohteena ovat voimalan kannalta kriittiset komponentit, kuten yllä jo paljon palstatilaa saaneet korkean kentän HTS-magneetit reaktori-koossa sekä CFETR:ään valitut kuumennus- ja virranajomenetelmät (NBI ja kaksi erilaista RF-teknologiaa) ja diverttoriratkaisut, joiden tulisi kestää jopa 20 MW/m<sup>2</sup> tehokuormia.

Kyse on Kiinan "mega-science"-kohteesta ja se on osa maan 13:tta 5-vuotissuunnitelmaa, joten projekti tulee varmasti etenemään rivakasti. Projektin onnistuminen pitää täälläkin varmistaa, joskin eri syistä kuin TE:llä ja SPARCilla. Tässä tapauksessa sivutuotteiksi nimetään muodikkaasti "strong support for cutting-edge, cross-disciplinary fields including energy, information, health and environment".

### EUROfusion DEMO

Euroopan suunnittelema konsepti, jota lyhykäisesti kutsun tässä vain DEMOKsi, on toinen paperitiikeri tässä porukassa. Tätä ei pidä kuitenkaan ottaa moitteena, sillä tässä projektissa ei pyritä pikavoittoihin vaan todelliseen fuusiovoimalan demonstraatiolaitokseen (kuva 5), jonka jälkeen kaupallisen fuusioenergian käyttöönoton pitäisi olla tekemistä vaille valmis. Fuusioenergian valjastamisessa on nimittäin useita kysymyksiä, jotka yllä esitetyt nopean aikataulun projektit ohittavat mutta jotka ovat ihan yhtä oleellisia voimalan kannalta kuin nettoenergian tuotto.

EUROfusion onkin kääriyt hihansa pystyäkseen vastaamaan kattavasti avoimiin kysymyksiin kohtuullisessa ajassa: juuri alkaneen 9. puiteohjelman fokuksessa on nimenomaan DEMOn suunnittelu, ja joulukuussa 2020 pidetty European Fusion Physics Workshop keskittyi vain ja ainoastaan DEMOn avoimiin kysymyksiin ja kuinka niihin voidaan löytää ratkaisu.

Vaikka pikavoittoa ei olla hakemassa, mistään rennosta puuhastelusta ei ole kyse: ensimmäinen Gate Review oli jo marraskuussa 2020 ja siinä todettiin, että voimalaitoskelpoista plasmaskenaariota ei ole vielä olemassa. Niin kutsuttu H-moodi, jota kaikki edellä kuvatut laitteet hyödyntävät saavuttaakseen nettotuoton, ei ole riittävän kiltisti käyttäytyvä. Sopuisampia skenaarioita on useita, mutta toistaiseksi niiden suorituskyky ei ole yltänyt H-moodin tasolle. Voimalaitoskelpoisen skenaarion identifioiminen ja kehittäminen onkin tämän puiteohjelman ykkösvaive, mikä myös tulee vaikuttamaan laitteen suunnitteluun – ainakin jos niin kutsuttu ”negative triangularity”-plasma valitaan. Siinä perinteisen D-muotoisen plasman vatsa pullistelee kohti laitteen keskustaa.

DEMON piirustukset saattavat lopulta poiketa vieläkin radikaalimmin ITERin vastaavista. Tokamakille on nimittäin olemassa haastaja, stelleratööri, jonka magneettikenttien luomiseen ei tarvita plasmavirtaa. Tällä ominaisuudella on useita verrattomia etuja: sen operointi ei perustu muuntajaperiaatteelle, joten se on luonnostaan jatkuvatoiminen ja siten voimalaitoskelpoinen ilman mitään eksoottisia virranajomekanismeja, ja miljoonien ampeerien plasmavirran puuttuminen tekee siitä epästabiilisuuksien kannalta kesyn.

Stellaraattori on itse asiassa tokamakia vanhempi konsepti, mutta huonojen koossapito-ominaisuuksiensa vuoksi jäänyt tokamakien varjoon. Supertietokoneiden myötä pystyttiin lopulta vastaamaan stelleratörrin meille heittämään haasteeseen: vasta suurteholaskennan myötä onnistuttiin löytämään 3-ulotteinen konfiguraatio, jossa magneettikentällä on riittävät symmetriaominaisuudet turvaamaan hyvä koossapito. Berliinin pohjoispuolella sijaitsevaan Max Planck -instituuttiin muutama vuosi sitten valmistunut Wendelstein 7-X edustaa tällaista optimoitua stelleratörrä, ja sen ensimmäiset kokeet ovat olleet huo-

mattavan lupaavia. Niinpä kun tarjolla olevista konsepteista valitaan finalistiksi joskus neljän vuoden kuluttua, ei ole ollenkaan selvää, että DEMO olisi tokamak.

DEMON suunnitteluun liittyen kerrottakoon vielä Suomen kannalta iloinen uutinen: koska DEMON suunnittelu vaatii suurta hyppyä olemassa olevasta kokeellisesta datasta kohti suurta tuntematonta, on teoria- ja simulointityöllä FP9:ssä erittäin suuri painoarvo. Työn koordinoimiseksi EUROfusion on luonut E-TASC (EF Theory and Advanced Simulation Coordination) -ympäristön, joka perustaa useamman ison laskentakeskuksen eri puolille Eurooppaa. Suomi Helsingin Yliopiston (HY) johtamana teki tarjouksen hubista, jonka vahvuusalueena olisi keinoäly (artificial intelligence, AI). Hakemuksia tuli 12, joista Suomen tarjous arvioitiin toiseksi parhaaksi, joten vielä tämän vuoden kuluessa tällainen laskentakeskus aloittaa toimintansa HY:n isännöimänä.

### Loppusanat

Fuusiotutkimuksessa eletään nyt siis tavattoman kiintoisaa aikaa, kun lukuisia erilaisia laitteita on pitkän tauon jälkeen rakenteilla ympäri maailmaa. On tärkeää ymmärtää, ettei yksikään niistä ole ITERin kilpailija, vaan jokaisen laitteen tulokset auttavat varmentamaan, ettei ITERissä tule epämiellyttäviä yllätyksiä, vaan että se saavuttaa tavoitteensa. Ja kun vielä jokaisella laitteella on hiukan erilainen agenda, ne tulevat mukavasti täyttämään aukkoja tämänhetkessä tietämyksessä. Aikataulukin alkaa olla lupaavampi: seuraavat 15 vuotta voivat hyvinkin antaa meille avaimet vielä olemassa oleviin teknologisiin ja tieteellisiin lukkoihin, jolloin toimiva fuusiovoimala voisi olla todellisuutta 2050-luvun lopulla.

### Viitteet

- [1] [www.tokamakenergy.co.uk/](http://www.tokamakenergy.co.uk/)
- [2] [www.tokamakenergy.co.uk/tokamak-energy-exceeds-target-of-20-tesla-with-hts-magnets/](http://www.tokamakenergy.co.uk/tokamak-energy-exceeds-target-of-20-tesla-with-hts-magnets/)
- [3] [www.psf.mit.edu/sparc](http://www.psf.mit.edu/sparc)
- [4] Greenwald et al., “Overview of the SPARC tokamak”, *Journal of Plasma Physics*. 86 (5). doi:10.1017/S0022377820001257
- [5] <https://ccfe.ukaea.uk/research/step/>
- [6] [www.chinadaily.com.cn/a/201812/14/WS5c137878a3107d4c3a000e97.html](http://www.chinadaily.com.cn/a/201812/14/WS5c137878a3107d4c3a000e97.html)
- [7] Yuanxi Wan et al., *Nucl. Fusion* 57, 2017, 102009
- [8] L. Barucca et al., “Pre-conceptual design of EU DEMO balance of plant systems: objectives and challenges”, ilmestyy lehdessä *Fusion Engineering and Design*

### Kirjoittaja



**Dos. Taina Kurki-Suonio**  
Vanhempi yliopistonlehtori  
Aalto-yliopisto, Teknillisen fysiikan laitos  
[taina.kurki-suonio@aalto.fi](mailto:taina.kurki-suonio@aalto.fi)

# Diplomityö: Seismisen tapahtuman ohjeiston kehittäminen Loviisan voimalaitokselle

Petra Seppälä  
Fortum Power and Heat Oy

Nykypäivän turvallisuussuositukset ja viranomaisvaatimukset edellyttävät, että ydinvoimalaitosten tulee kehittää seismisen tapahtuman ohjeisto käyttö- ja valmiusorganisaation päätöksenteon tueksi maanjäristystilannetta varten. Diplomityössä kehitettiin Loviisan voimalaitoksen seismisen tapahtuman ohjeistokokonaisuutta erityisesti käyttöorganisaation näkökulmasta.

Modern safety standards require nuclear power plants to develop a seismic preparedness and response programme to support the decision-making process of the operating and emergency response organization after the occurrence of an earthquake. In this master's thesis, the seismic event guidelines for Loviisa nuclear power plant were further developed from the viewpoint of the operating organization.

Diplomityön tarkoituksena oli laajentaa Loviisan ydinvoimalaitoksen nykyistä seismistä ohjeistokokonaisuutta. Työn tavoitteena oli ensisijaisesti selvittää, millä kriteereillä ja mitkä toimenpiteet suorittaen voimalaitos ajetaan turvallisesti alas maanjäristystilanteessa. Seisminen ohjekehitys tehtiin ottaen huomioon, että maanjäristysten tunnistamista ja niihin reagoimista ei huomioitu voimalaitoksen alkuperäisessä suunnittelussa.

## Tausta

Suomi kuuluu seismisesti maailman rauhallisimpiin alueisiin, ja verrattuna seismisesti aktiivisiin alueisiin Suomessa esiintyvät maanjäristykset ovat olleet voimakkuudeltaan heikkoja. Tämän vuoksi Loviisan voimalaitoksen alkuperäisessä suunnittelussa ei käytetty seismisiä kuormituksia suunnitteluperusteena.

Nykypäivän kansainväliset suositukset, tarkentuneet viranomaisvaatimukset ja uudet kasvaneet arviot Suomen seismisyydestä ovat johtaneet siihen, että myös Suomessa ydinvoimalaitosten tulee kehittää seismisen tapahtuman ohjeisto käyttöorganisaation päätöksenteon tueksi maanjäristystilannetta varten.

## Seisminen ohjekehitys

Seismisen ohjeiston kehittäminen aloitettiin käsittelemällä seismisen tapahtuman jälkeen paikallisesti suoritettavat toimenpiteet perustuen voimalaitokselle kehitettyyn maanjäristysluokitukseen. Toimenpiteet jaoteltiin onnettomuudenhallinnan suunnitelman mukaisesti toiminnallisiksi kokonaisuuksiksi, minkä jälkeen kartoitettiin toimenpiteissä käytettävät ohjeet, niiden toteuttamiseen vaadittavat henkilöresurssit sekä arvioitiin toimenpiteisiin kuluva aika ohjeiden laatimista varten.

Työssä selvitettiin lisäksi suunnittelumaanjäristyksen kestäväillä laitteilla suoritettavan turvallisen alasajon toimenpiteiden ohjausjärjestystä ja arvioitiin menettelyjen toimivuutta, minkä perusteella turvallisen alasajon toteutukseen tehtiin tarvittavat muutokset. Diplomityössä selvitettiin myös, millä kriteereillä turvallinen alasajo suoritetaan maanjäristyksen jälkeen.

Ohjekehityksen aikana laadittiin vuokaaviomuotoiset ohjelunokset

seismisen tapahtuman jälkeen suoritettavista toimenpiteistä sekä turvallisen alasajon ohjeista valvomo-operaattoreille. Ohjeiden luonnosversiot toimivat suuntaviivoina siitä, miten ohjekehityksen kannalta oleelliset tulokset otetaan jatkossa huomioon ja esitetään seismisessä ohjeistossa.

## Työn tulokset

Seismisen ohjekehityksen tulokset täydentävät Loviisan voimalaitoksen ohjeistokokonaisuutta ja tukevat maanjäristystilanteen jälkeistä käyttöorganisaation päätöksentekoa. Laadittujen ohjeiden avulla maanjäristystilanteessa otetaan huomioon seismisen tapahtuman erityispiirteet, ohjataan oleellisten toimenpiteiden aloittamiseen sekä tarvittaessa suoritetaan turvallinen alasajo suunnittelumaanjäristyksen kestäväillä laitteilla. Ohjeistokehityksen tulokset parantavat siten voimalaitoksen riskienhallintaa ja varautumista seismistä tapahtumaa varten.

*Opinnäytetyö on hyväksytty Aalto-yliopiston sähkötekniikan korkeakoulussa 31.12.2020.*

## Kirjoittaja



**DI Petra Seppälä**

Suunnitteluinsinööri  
Fortum Power and Heat Oy  
petra.seppala@fortum.com

# Kas kuukkelia, se se osaa ja uskaltaa ihmisen kanssa!

## Ajatushautojan muistivihkomerkintä aihepiirissä turvallisuus

**TERMEISTÄ:** Tein minitutkimuksen termistä ajatushautoja ennen kuin halusin käyttää sitä pakinani otsikossa. Kotimaisten kielten keskuksen (Kotus) nettisivusto kielitoimistonsanakirja.fi määritteli ajatushautomon olevan ”eri alojen asiantuntijoiden tutkimus- tai muu organisaatio, joka kehittää ideoita poliittiseen, taloudelliseen tai muuhun laajamittaiseen toimintaan”. Sen synonyymejä ovat ajatusmylly ja aivoriihi, joista jälkimmäisen Kotus määrittelee vielä lyhyemmin olevan ”jotakin asiaa pohtiva ryhmä”. Kansanomaisen ilmaisun ”panna mietintämyssy päähän” Kotus määritteli olevan ”ryhtyä miettimään”.

Havaitsin, että lyhyen ytimekkäät tekijäsanat kuten pohtija, pohdiskelija ja miettiä eivät saaneet Kotukselta osumia mutta tutkija, leipoja, maalaaja, ompelija sen sijaan saivat. Mietiskelijä on hauska ”hiljainen mietiskelijä”. Liekö vasta-kohta sitten ”ääneen ajattelijä”? Ajattelijä onneksi on osumaltaan tyhjentävästi tikanheiton napakymppi ja häränsilmä englantilaisessa dartsissa: ”syvällisesti ajatteleva henkilö, filosofi”.

Pikku kielitutkimukseni pohjalta näyttää hämmäntävästi siltä, että suomen kielessä olennaisinta on tekemisen laatu ja sisältö ja että tekijöissä ryhmä ikään kuin jyrää yksilön. Kaikki ajattelu, ryhmässäkin, on kuitenkin yksilöiden ajattelua, niiden synteesi. Pahimmoillaan ryhmä vain riitelee asian ympärillä pääsemättä yhteisymmärrykseen.

**JATKOJOHDATTELUA OTSIKON AIHEESEEN:** On paljon julkisuudesta tuttuja lausumia, sanontoja ja tarinoita, jotka muistetaan kansan keskuudessa pienestäkin vihjeestä. Presidentti- ja pääministeritason henkilöiden letkautuksia, lipsahduksia tai viisauksia ovat esimerkiksi: ”Kyllä se siitä.”, ”Itkin niin, etten tietä nähnyt.”, ”Nahkurin orsilla tavataan.”, ”Minä juon nyt kahvia.”, ”Syökää silakkaa!”, ”Niin on hyvä kuin käy, siinä se.”, ”Mielen koti on kieli.”, ”Ydinvoima on samalla viivalla muiden energia-

lähteiden kanssa.”, ”Päätös syntyi Rukan lumilla.”, ”Virhe oli minun, sori siitä.”, ”Eikö teitä hävetä?” Presidentti Mauno Koiviston pohdiskelut ovat ehkä muistetuimpia lausumia Kekkonen jälkeisessä ajassa, mutta kuitenkin vain jäävuoren huippu.

Historian ynnä muiden tutkijoiden etuoikeus on saada omaan tutkimustyöhönsä harvinaista tietoa ja aineistoa eri arkistoista. Esimerkistä käy vaikkapa Jean Sibeliuksen (1865-1957) ja hänen vävynsä kapellimestari Jussi Jalaksen (1908-1985) syvälliset keskustelut ja Jalaksen niistä kirjoittamat muistiinpanot ja ”laput”. Helsingin Sanomat kertoi vuosituuhannen vaihteessa kesämökin vintiltä yllättäen löytyneestä vanhasta kenkälaatikosta ja siinä olleista lapuista. Vuosikymmeniä aiemmin Tapio Rautavaara löysi aikoinaan ullakolta isoisän olkihatus. Kerrotaan suuren määrän Johan Sebastian Bachinkin sävellyksiä löydetyn uudestaan 1800- ja 1900-luvuilla.

Itselläni lähtemättömästi muistissani on puheluni jo edesmenneelle äidilleni, kun tämä oli juuri päässyt kotiin oltuaan pari viikkoa sairaalassa tehohoidossa. Soitin hänelle hänen palatuaan kotiin ja aloitin Lauri Viidan runon ”Onni” säkeellä: ”On valo syttynyt ikkunaan”, olet kotona taas, olen kaivannut sinua sinne.” Äiti meni täysin hämilleen: ”Mitä... , mitä sinä sanoit?” Lausuin runonpätkän uudestaan. ”Odoti vähän, minä haen kynän ja paperia!” Pari viikkoa tuon puhelun jälkeen löysin kirjakaupassa sattumalta postikortin, jossa tuo virke oli painettuna korttiin. Ostin kortin ja lähetin sen postissa äidilleni.

Kuka tahansa voi olla oman elämänsä tärkeiden asioiden muistiin merkittäjä omalla yksilöllisellä tavallaan. Tavat ja käytännöt vaihtelevat, kaikki ovat kuitenkin oikeita tapoja. Totta kai jotkut tavat ovat parempia kuin toiset, tehokkaampia, informatiivisempia, hyödyllisempiä, mutta väliäkö sillä! Muistan runoilija Tommy Tabermannin. Hän istui ravintolan nurkkapöydässä hissuk-

seen viiniä nauttimassa. Aika ajoin hän kaivoi paitansa rintataskusta pienen vihkosen ja kirjoitti siihen jotakin, tuskinpa kuitenkaan puhelinnumeroita tai syntymäpäiviä? Voin kuvitella, että runojen aihioita muistiin muhimaan.

Ruotsin laivalla kerran saunasta tultuani istuin luuelle ja kuulin naapuripöydässä rouvan kertovan toiselle: ”Tein perusteellisen joulusiivouksen ja panin rannekellon jemmaan häiritsemästä. Jemmassa se on vieläkin, en ole sitä vielä löytänyt. Harmittaa.” Elettiin helmikuuta.

Ei muistamisen tarve ole edelleenkaan loppunut. Mutta nykyään ei niinkään muisteta tai eletä pelkästään muistin varassa, nykyään on tiedettävä ja tiedettävä oikein ja virheettömästi, ei riitä enää salasanujen suurin piirtein muistaminen. Ellei, tulee vähintään turvaton olo, kun asiat eivät hoidu. Toisaalta työkalut - tietokoneet, kännykät, internet, viestimet, tiedonhakupöydät - ovat nykyään sanalla sanoen ”murhaavan” tehokkaita. Rouvallakin olisi helpompaa, kun olisi sellainen jemma, jonka hän itsekin löytää, muistamalla tai järjelemällä tai vaikkapa muistivihkosta katsomalla.

Olen havainnut hyväksi käytännöksi kirjoitustyössä, että on erilaisia aihioita kirjoittamisen aiheiksi. Mutta takaisin alkuun, termiin ajatushauto. Sen englanninkielinen termi on ”Think tank” tai ”Think and do!”. Meillä on hieno suomalainen sanonta: ”Hyvin suunniteltu on puoliksi tehty.” Kirjoittamisen aihioista voi valita, mikä voisi kulloinkin tuntua sopivan ajankohtaiselta. Onhan tuo aihio saattanut jo pitkäänkin muhia ja kypsyä mielessä kynän viedä.

**TURVALLISUUS – TUNNETTA JA NÄKÖKULMIA:** Kuukkelikuva esittää linnun ja ihmisen kohtaamista. Muu hiihtoporukka oli jo ehtinyt asettua taukopaikan laavulle eväitään syömään, kun utelias kuukkelilennähti lähelle vielä suksilla olevaa porukan viimeistä saapujaa. Tämä kai-voi repustaan pähkinöitä ja tarjosi niitä rukkassellaan kuukkelille lintua lempeästi puhutellen.

Aluksi lintu vielä paikallaan siipiään viuh- toen tavoitteli suupalaa mutta uskalsikin sitten asettua seisomaan rukkaselle ja napsia pähkinän nokkaansa. Lintu selvästikin koki miehen riittävän turvalliseksi ja pähkinän liian houkuttelevaksi. Se olisi helposti ehtinyt pyyhähtää pois, jos turvattomuus miehen äkkinäisen liikkeen tai kovan äänen johdosta olisi saanut sen pelästymään. ”Vastanäyttelijänä” miehellä ei tietenkään ollut mitään pelättävää, mitäpä pahaa pieni kuukkelilintu olisi voinut hänelle aiheuttaa?

Tunteella ja molempien näkökulmasta turvallisesti tuo linnun ja ihmisen kohtaaminen luonnossa tallentui harvinaiseen valokuvaan. Illalla saunan jälkeen hiihtoporukka sitten kat- seli toistensa ottamia valokuvia, vaihtoi niitä keskenään kuin konsanaan lapsena erilaisia



Kuva: Tuulikki Terho

vaihtareita ja pohdiskeli kuukkelin käytöksen tiimoilta. Ajatushautoja kaivoi esiin muistivihon ja kirjoitti kohtaan Turvallisuus: ”Kas kuukkelia, se se osaa ja uskaltaa ihmisen kanssa!”

Ihmisen ja luonnon elävän – linnun, eläimen, jopa kasvin – välinen kohtaaminen on pohjimmiltaan ja aidoimmillaan kanssakäymistä tunteitten tasolla. Tutkimukset tukevat tällaista teoriaa. Lapsuuden ja nuoruuden kokemukset ovat olennaisia niin ihmiselle kuin eläimelle. Jos lapsena on kokenut pelottavia hetkiä koiran kanssa, koiraa saattaa pelätä koko elinikänsä. On myös päin vastoin ja sama asia kissan ja hevosen kanssa. Ei auta, vaikka koira mitä ilmeisimmin on kaikista eläimistä ihmisen paras ystävä ja kissa ja hevonen heti seuraavina. Jollei lapsena ole pitänyt marsua, hiirtä tai pupua käsissään ja sylissä, tuskin pitää aikuisenakaan.

Villieläimiin ihminen luo luontevimmin tunnekokemuksia eläintarhassa tai katsomalla kotisohvalla televisiosta luonto-ohjelmia. Kerrotaan sellaista, että norsu näkee ihmisen ikään kuin pienenä norsunpoikasena, mikä selittäisi norsun ja ihmisen hyvää keskinäistä kanssakäymistä. Toisen teorian mukaan norsukin suhtautuu ihmiseen sen mukaan, mikä kokemus, hyvä tai huono, sillä on ihmiseen aiemmassa elämässään. Ja norsu muistaa, se on käsite. Tiedetään, että norsuyhteisö on matriarkaalinen, lauman vanhin naaras muistaa juomapaikat ja johdattaa lauman niiden ääreen. Sellainen tuo turvallisuuden tunnetta norsuyhteisöön.

Uuden ajan filosofian perustajaksikin kutsutun ranskalaisen filosofin ja matemaatikon Rene Descartes’in (1596–1650) kuuluisa ajatus on: ”Ajattelen, siis olen (olemassa).” Hän oli lähtökohtaisesti kaiken epäilijä, joka rationalistisessa ajattelussaan päätyi siihen, että kaikki aineelliset olennot mukaan lukien myös ihmisen ruumis ovat koneita, jotka toimivat mekaanisilla periaatteilla. Lisäksi ihmisellä, mutta ei eläimillä, on Jumalan luoma kuolematon sielu.

Koska eläimillä ei ole sielua, ne eivät voi ajatella, kyetä kokemuksiin, eikä tuntea kipua. Niinpä hän piti hyväksyttävänä eläinten leikkelyä myös elävänä, muun muassa lääketieteen opetuksessa. Eläin naulattiin elävältä jaloistaan kiinni, sen maha viillettiin auki ja sen sisuksia professori ja oppilaat sitten tutkivat. Mahaa auki viilletessä eläin korahтели ja vinkui kuten konekin vikaantuessaan. Sitähän se tiede on, aiemman tiedon sijaan parempaa ja siitä edelleen parempaa ja oikeampaa. Noista ajoista lääketiede on onneksi edennyt hurjin harppauksin kohti nykyistä tasoaan ja etenee epäilemättä edelleen.

Suomalaisessa kulttuurissa eläinkunta ja luonto on vahvasti esillä muun muassa suomen ja ruotsin kielen käytössämme, nimityksissä, paikannimissä, suku- ja etunimissä, esineiden, yritysten ja yhdistysten nimissä. Ulkonaisesti uroksia ja naaraita ei eläinten kohdalla välttämättä aina erota toisistaan, lintujen kohdalla toki helpommin. Ihminen omalta osaltaan helpottaa sukupuolen tunnistusta antamalla eläimille kutsumanimiä sukupuolen

mukaan kuten viisaasti ja lakia noudattaen ihmisillekin.

Maailman kielissä sen sijaan on mielenkiintoisia eroja, erityisesti suomessa suhteessa valtaosaan muita kieliä: suomen kielessä ei ole sukujatottelua sukupuolen mukaan. Kun pohditaan, miksi ja miten Suomessa ja suomalaisten keskuudessa suhteemme luontoon usein poikkeaa merkittävästikin verrattuna muiden maiden luontosuhteeseen, kielen ja ihmis- ja eläinkunnan termeillä sukupuolen mukaan on siinä suuri merkitys.

#### VIRTUAALILOMALTA TAKAISIN REAALIMAAILMAAN:

Näinä koronakurimuksen aikoina ”mielikuvalomareissut” kotisohvalla TV:n ääressä tai perheen valokuvakansiota selaillessa ovat virkistäviä virtuaalimatkoja paremman puutteessa ja puuttuessa. Ulkoministeri Pekka Haavisto sen sijaan teki todellisen ja ilmeisen onnistuneenkin matkan käydessään syleilemässä karkua kaksipäisen kotkan varjossa suuren valtakunnan entisessä pääkaupungissa. Ei huono!

Jokin on muuttunut ja vieläpä edukseen sitten suuren kansalaisvaltuuskunnan yrityksen päästä tapaamaan tsaari Nikolai II:ta. Ei onnistunut puheille pääsy silloin, mutta onneksi tsaari välitti virkamiehensä suulla tervehdyksensä valtuuskunnalle, ettei ollut sille vihainen. Historioitsijamme voisivat pohtia tuon episodin merkitystä Suomelle syvällisemminkin kuin vain kertoa, mitä tapahtui.

#### Turvallisuusfilosofi

**Palautusosoite:**

Suomen Atomiteknillinen Seura  
PL 78  
02151 ESPOO

**Osoitteenmuutokset:**

sihteeri@ats-fns.fi



---

**KANNATUSJÄSENET**

---

**A-Insinöörit Civil Oy**

**Pohjoismainen  
Ydinvaruutuspooli**

**TVO Nuclear Services Oy**

**Fennovoima Oy**

**Pohjolan Voima Oyj**

**Voimaosakeyhtiö SF Oy**

**FinNuclear ry**

**Posiva Oy**

**Westinghouse**

**Fortum Power  
and Heat Oy**

**Teknologian  
tutkimuskeskus VTT Oy**

**Platom Oy**

**Teollisuuden Voima Oyj**