

ATS YDINTEKNIikka

4/2025

Vol. 54

SYP2025 HANASAARESSA

ATS järjesti Suomalaisen Ydintekniikan Päivät lokakuun lopussa Hanasaaren kulttuurikeskuksessa.

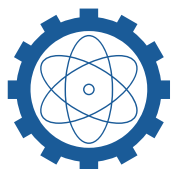
METEORIITIT UHKANA YDINLAITOKSILLE?

Meteoriittien ja muiden ilmiöiden uhkaa on haastavaa arvioida luotettavasti lyhyiden havaintosarjojen perusteella.

AEROSOLIPÄÄSTÖT PIENEMMIKSI

Vakavien reaktorionnettomuuksien aerosolipäästöjä voidaan suodattaa sähköstaattisella järjestelmällä.





ATS YDINTEKNIikka

Julkaisija / Publisher

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

www.ats-fns.fi

Johtokunta / Board

Puheenjohtaja / President

DI Hanna Tynys

puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja / Vice President

TkT Antti Hakola

antti.hakola@vtt.fi

Sihteeri / Secretary General

FM Tommi Lyytinen

sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Topi Tupasela

topi.tupasela@stuk.fi

Jäsenet / Board Members

PhD René Bes

rene.bes@helsinki.fi

FT Jani Huttunen

jani.huttunen@tvo.fi

Dos. Taina Kurki-Suonio

taina.kurki-suonio@aalto.fi

TkT Jaakko Leppänen

jaakko.leppanen@vtt.fi

DI Janne Valkonen

janne.valkonen@platom.fi

Toimihenkilöt / Functionaries

ATS Young Generation

DI Roope Lipiäinen

roope.lipiainen@fortum.com

Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

MSc Ana Jambrina

ana.jambrina@vtt.fi

Women in Nuclear Finland

FM Jenna Levo

jenna.levo@tvo.fi

Www-vastaava / Webmaster

DI Teemu Sällylä

webmaster@ats-fns.fi

ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkT Riitta Kyrki-Rajamäki

rkyrki@gmail.com

Toimitus / Editors

Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

TkT Jarmo Ala-Heikkilä

jarmo.ala-heikkila@aalto.fi

Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

FT Antti Rätty

antti.ratty@vtt.fi

Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

DI Tapani Raunio

tapani.e.raunio@fortum.com

Ulkoasu ja taitto / Layout

Katariina Korhonen, Creatus

katariina@creatus.fi

Toimitus / Editorial Staff

FM Sophie Haapalehto

sophie.haapalehto@posiva.fi

DI Klaus Kilpi

klaus.kilpi@gmail.com

DI Unna Lauranto

unna.lauranto@vtt.fi

TkT Henri Loukusa

henri.loukusa@gmail.com

DI Aleks Savolainen

aleksi.savolainen@tvo.fi

FT Mervi Söderlund

mervi.soderlund@fortum.com

TOIMITUKSEN YHTEYSTIEDOT

ATS Ydintekniikka

c/o Jarmo Ala-Heikkilä

PL 15600

00076 Aalto

p. 050 433 1198

Painopaikka

PunaMusta 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.

Kansikuva: Käyttäjä Wokege, CC BY-SA 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>, muokattu (kirkastettu).



KASVUA JA KUUSIKYMPPIÄ ODOTELLESSA

Kansainvälisen energijärjestön IEA:n kristallipallo kertoo, että ydinenergian maailmanlaajuinen tuotantoteho nousee vähintään kolmasosalla seuraavan kymmenen vuoden aikana. Lisäksi IEA arvioi, että vuonna 2025 tuotetaan ennätysmäärä ydinsähköä ja että tästä kasetaan 70 % vuoteen 2050 mennessä. Skenaario perustuu maailman valtioiden tämänhetkisiin energiapäätöksiin.

Pitkään tilannetta seuranneen päättää alkaa huimata näiden ennusteiden ääressä. Alalla on aika lailla eri tunnelma kuin vielä vuosituhannen vaihteessa. Myös uusi opiskelijasukupolvi on haistellut tuulen suuntaa, mikä näkyy ydinenergiaan liittyvien kurssien merkittävästi kasvaneina osallistujamäärinä. Ja hyvä näin, koska ennustetun kaltainen kasvu vaatii paljon uusia tekijöitä.

ATS järjesti erittäin onnistuneet Suomalaisen Ydintekniikan Päivät syksyisen kauniissa Hanasaaren kulttuurikeskuksessa. Kiitokset ja onnittelut järjestelytoimikunnalle! SYP:n jälkeisessä jäsentapahtumassa oli vähän salaperäisemmät aiheet eli ydinlaitosoperaattorien WANO-kerho sekä ydinaseet. Tammikuussa on luvassa tietoa ydinjätehuollon linjauksista uudessa ydinenergi-laissa, ja kun ATS viettää 60-vuotispäiviään vuonna 2026, johtokunta oletettavasti suunnittelee muutakin ohjelmaa juhluvuodelle.

Muutoin olen sitä mieltä, että seuran jäsenlehden päätoimittajaa olisi hyvä vaihtaa ajoittain. Minähän olen jo pelannut ensimmäisen lisääjän loppuun, kun kuudes vuosi ATS Ydintekniikan päätoimittajana tulee tämän lehden myötä täyteen. Edelleenkin tavoitteena on siirtää viestikapula eteenpäin, kuten jo viime vuonna kirjoitin. Jos tehtävä kiinnostaa, ole yhteyksissä!

Jarmo Ala-Heikkilä
Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

VAKIOPALSTAT

PÄÄTOIMITTAJALTA	
Kasvua ja kuusikymppisiä odotellessa.....	3
PÄÄKIRJOITUS	
Ydinenergia kasvun tiellä.....	4
EDITORIAL	
Nuclear energy on the way to growth.....	5
PAKINA	
Kahtiajako on alkanut.....	34

TAPAHTUMAT

SYP – Suomalaisen Ydintekniikan Päivät 2025.....	6
SYP2025:n oheistapahtuma: Mitä pienydinvoima tarkoittaa kuluttajalle ja asukkaalle?.....	10
Fuusioenergiaa Pohjoismaihin? Edellytykset menestykselle.....	12
Juuri oikeanlaista radiokemiala: APSORC25 nousevan auringon maassa.....	16

AJANKOHTAISTA

Pyykillä Loviisan voimalaitoksella.....	19
Timo Saario ja ydinvoimalaitosten materiaalien tutkimus.....	21

TIEDE JA TEKNIikka

Meteoriittien hasardikäyrä.....	23
<i>Tapani Raunio</i>	
Reducing radiation risks: The role of electrostatic precipitation in nuclear safety.....	28
<i>Satish Basnet, Anna Lähde</i>	
Master's thesis: Operational maturity of GEN IV reactor designs.....	31
<i>Pyry-Pekka Koistinen</i>	

YDINENERGIA KASVUN TIELLÄ

Kirjoitin edellisen kerran ATS Ydin-
tekniikka -lehteen noin viisi vuotta sit-
ten. Pohdin tuolloin ydinvoima-alan
kustannusten hallintaa, uudistumistarvet-
ta ja vetovoimatekijöitä. Oli kiinnostavaa
palata viiden vuoden takaisiin ajatuksiin ja
huomata, miten paljon kaikilla näillä alueil-
la on tapahtunut kehitystä. Koko ydinvoi-
ma-ala on ottanut tänä aikana tukevia as-
kelia kasvun tielle.

Maailmanlaajuisesti ydinvoima on nyt
nosteessa. Viimeisimpien tietojen mukaan
31 maata on ilmoittanut kasvattavansa
ydinvoimakapasiteettinsa yhteensä kol-
minkertaiseksi vuoteen 2050 mennessä.
Käyttöiän pidennyksiä suunnitellaan ydin-
voimalaitoksiin ympäri maailmaa. IEA on
arvioinut, että maailmanlaajuiset investoin-
nit ydinvoimaan nousevat vuosittain 70–
120 miljardiin Yhdysvaltain dollariin vuo-
teen 2030 mennessä.

Euroopassa kunnianhimoisia kasvu-
suunnitelmia on muun muassa Puolassa,
Ranskassa ja naapurissamme Ruotsissa.
Ydinvoimasta käydään poliittista keskuste-
lua jopa maissa, joissa aihe ei ennen kiin-
nistanut kuten Norjassa. Etenkin pien-
ydinvoima on tuonut ydinvoimakustelun
uudella tavalla myös kaupunkeihin ja kun-
tiin, kun pieniä modulaarisia reaktoreita vi-
sioidaan yhdeksi päästöttömän kaukoläm-
män lähteeksi tulevaisuudessa.

Aika näyttää, missä määrin suunni-
telmista tulee konkretiaa. Paljon työtä on
ainakin edessä joka saralla. Meillä For-
tumissa omat näkemyksemme kirkastui-
vat, kun teimme vuosina 2022–2024 laa-
jan uuden ydinvoiman selvityksemme.
Arvioimme sen aikana uuden ydinvoiman
kaupallisia, teknologisia ja yhteiskunnal-
lisia edellytyksiä Suomessa ja Ruotsissa.
Teknologian osalta selvityksemme kattoi
sekä pienydinvoiman että suuret reaktori-
t, yhteensä 11 laitostallia.

Selvityksemme keskeinen johtopää-
tös liiketoimintamallin osalta oli se, että
nykyisillä sähköhinnoilla uuden ydin-
voiman rakentaminen sähköntuotantoon
ei ole taloudellisesti järkevää, jos kan-
nattavuus on täysin markkinan varassa.
Ydinvoimainvestointi vaatii ennustetta-
vuutta tulovirtoihin, mutta sitä sähkömark-



kinat eivät nykyisellään tarjoa. Tuhansia
megawatteja uutta ydinvoimaa tavoitte-
levassa Ruotsissa tämä tosiasia on otettu
huomioon. Investointien vauhdittamiseksi
kehitetty valtion rahoitus- ja riskinjakome-
kanismit on jo kirjattu lakiin.

Suomessa työ- ja elinkeinoministeriö
on parhaillaan teettämässä omaa selvi-
tystään keinoista uuden ydinvoiman edis-
tämiseen. Johtopäätöksiä kuulemme ensi
vuonna. Toinen tärkeä kehitysalue uuden
ydinvoiman kannalta Suomessa on meneil-
lään oleva ydinenergialain uudistus.

Lakiehdotuksen perusteella näyttää sil-
tä, että uudistus on tuomassa useita hyviä
muutoksia nykylakiin verrattuna. Ehdotetun
lain tavoitteena on antaa entistä paremmat
mahdollisuudet hankkia Suomeen ydinvoi-
malaitos ilman maakohtaisia muutoksia tai
ainakin vähäisin muutoksin. Juuri maakoh-
taisten muutosten rajoittaminen nousi yh-
deksi tärkeimmistä keinoista uuden ydinvoi-
mahankkeen onnistumiseen myös omassa
selvityksessämme.

Me Fortumissa uskomme, että uudel-
la ydinvoimalla voi olla tärkeä rooli kestä-
vässä, kilpailukykyisessä ja vähähiilisessä
sähköjärjestelmässä. Jatkamme siksi uuden
ydinvoiman kehittämistä pitkän aikavälin

vaihtoehtona. Haluamme olla valmiita vas-
taamaan ennustettuun asiakaskysynnän
kasvuun sekä korvaamaan olemassa olevia
voimalaitoksia niiden elinkaaren loppupuol-
lella. Samaan aikaan keskitymme tarmok-
kaasti olemassa olevaan liiketoimintaam-
me, missä yksi tärkeimmistä hankkeista on
Loviisan voimalaitoksen käyttöiän piden-
nyksen mittava investointiohjelma.

Viidessä vuodessa on ydinvoima-alal-
la ehtinyt tapahtua paljon. Tietyt teemat
kuitenkin toistuvat. Nykyisen liiketoimin-
nan pitäminen kannattavana ja kilpailuky-
kyisenä on aivan yhtä tärkeää kuin ennen.
Kuten myös turvallisuus kaikissa ydinvoi-
matoiminnoissa.

Turvallisuuden eteen tehtävä työ ei
lopu koskaan, vaan joka päivä voi tehdä
asioita paremmin. Ilman turvallista toimin-
taa ei ydinvoimalla ole yhteiskunnallista hy-
väksyttävyyttä eikä uudella ydinvoimalla
tulevaisuutta. Turvallisuus on kaiken läh-
tökohta myös kasvun tiellä.

Petra Lundström
Executive Vice President,
Nuclear Generation
Fortum Oyj
petra.lundstrom@fortum.com

NUCLEAR ENERGY ON THE WAY TO GROWTH

I wrote for ATS Ydintekniikka magazine about five years ago. At that time, I discussed cost control, the need for renewal, and factors attracting investment in the nuclear power industry. It was interesting to revisit my thoughts from five years ago and see how much progress has been made in all these areas. During this time, the entire nuclear power industry has taken strong steps toward growth.

Globally, nuclear power is now on the rise. According to the latest data, 31 countries have announced plans to triple their nuclear power capacity by 2050. Lifetime extensions of nuclear power plants are being planned around the world. The IEA has estimated that global investment in nuclear power will rise to between US\$70 billion and US\$120 billion annually by 2030.

In Europe, ambitious growth plans have been drawn up in Poland, France, and our neighbour Sweden, among others. Political debate on nuclear power is even taking place in countries where the topic was previously of no interest, such as Norway. Small-scale nuclear power, in particular, has brought the nuclear power debate to cities and municipalities in a new way, as small modular reactors are envisioned as a source of emission-free district heating in the future.

Time will tell to what extent these plans will become reality. In any case, there is a lot of work ahead in every area. At Fortum, our own views became clearer when we conducted our extensive new nuclear feasibility study in 2022–2024. During this time, we assessed the commercial, technological, and societal prerequisites for new nuclear power in Finland and Sweden. In terms of technology, our study covered both small modular reactors and large reactors, a total of 11 plant designs.

The key conclusion of our study regarding the business model was that, at current electricity prices, building new nuclear power plants for electricity generation is not economically viable if profitability is entirely dependent on the market. Investing in nuclear power requires

predictability in revenue streams, but the electricity market does not currently offer this. Sweden, which is aiming for thousands of megawatts of new nuclear power, has taken this fact into account. Government financing and risk-sharing mechanisms developed to accelerate investment have already been written in law.

In Finland, the Ministry of Economic Affairs and Employment is currently conducting its own study on ways to promote new nuclear power. We will hear the conclusions next year. Another important area of development for new nuclear power in Finland is the ongoing reform of the Nuclear Energy Act.

Based on the law proposal, it appears that the reform will bring several positive changes compared to the current law. The aim of the proposed law is to provide better opportunities for building a nuclear power plant in Finland without country-specific changes, or at least with minimal changes. Limiting country-specific changes was one of the most important factors for the success of a new nuclear power project in our own report.

At Fortum, we believe that new nuclear power can play an important role in a sustainable, competitive, and low-carbon electricity system. We will therefore continue to develop new nuclear power as a long-term option. We want to be ready to respond to the predicted growth in customer demand and to replace existing power plants at the end of their life cycle. At the same time, we are focusing vigorously on our existing business, where one of the most important endeavours is the extensive investment program for extending the operating life of the Loviisa power plant.

A lot has happened in the nuclear power industry in the last five years. However, certain themes keep recurring. Keeping current business operations profitable and competitive is just as important as ever. The same applies to safety in all nuclear power operations.

The work to ensure safety never ends; every day, there are things that can be

done better. Without safe operations, nuclear power will not be socially acceptable, and new nuclear power will have no future. Safety is the cornerstone for everything, including growth.

Petra Lundström

Executive Vice President,
Nuclear Generation
Fortum Oyj
petra.lundstrom@fortum.com

SYP – SUOMALAISEN YDIN- TEKNIIKAN PÄIVÄT 2025

Perinteeksi muodostuneet Suomalaisen Ydintekniikan Päivät eli SYP (21.–22.10.2025) kokosi jälleen saman katon alle suuren määrän ydinvoimatekniikan osaajia ja muuta kiinnostunutta kuulijakuntaa. Tapahtumapaikkana toimi tällä kertaa Hotel Hanasaari, jossa kuultiin kahden päivän aikana alan ajankohtaisimmat kuulumiset sekä useita mielenkiintoisia teknisiä esityksiä.

Teksti: Vesa Laitinen, Veera Rantavaara ja Otto Fabritius

SYPin avauspuheenvuorossa elinkeinoministeri Sakari Puisto antoi tervehdysen Suomen hallitukselta. Puheessaan hän korosti, kuinka ydinvoima on ollut Suomen energijärjestelmien kulmakivi jo vuosikymmenten ajan. Vakaata ja puhdasta energiantuotantoa tarvitaan myös tulevaisuudessa. Puisto toivotti uudet ydinvoimaratkaisut tervetulleiksi.

Ydinvoimassa tapahtuu paljon sekä kansallisella että kansainvälisellä kentällä. Suomessa kiistatta suurin koko alaa koskettava muutosvoima on meneillään oleva ydinenergiain kokonaisreformi, joka käy käytännössä läpi säädännön kaikki

eri tasot. Ajoitus tälle päivitykselle on hyvin otollinen, kun voimakasta tuloaan lähitulevaisuudessa ovat tekemässä pienet modulaariset reaktorit sekä mahdollisesti myös pilottitason fuusioreaktorit.

Toiminta on kiitettävän aktiivista myös länsinaapurissa. Ydinvoiman yleinen hyväksyntä on kääntynyt vuosikymmenessä kielteisestä myönteiseksi, minkä johdosta Ruotsin valtion rohkeat rahoitusmekanismit ovat siivittämässä maahan uutta ydinvoimarenessanssia. Samaan aikaan voidaan mielenkiinnolla seurata myös uusien teknologioiden kehitystä, kun esimerkiksi Novatron-fuusioreaktorin en-

simmäinen koeversio on jo käytössä Kuninkaallisessa teknillisessä korkeakoulussa Tukholmassa.

EILEN, TÄNÄÄN JA HUOMENNA

Konferenssissa useassa puheenvuorossa katse oli selkeästi kohti tulevaa. Jussi Heinonen (STUK) esitteli Suomen ydinenergia-alan säännöstömuutosta, joka koskettaa jokaista ydinvoimatoimijaa Suomessa. Säännöstöuudistus tuo mukanaan teknologianeutraalin säännöstöympäristön, joka ottaa huomioon entistä joustavammin erilaiset reaktorityypit ja ydinlaitokset.

Kim Dahlbacka (Westinghouse) palasi muistelemaan, kuinka Westinghouse toimitti yhteensä 14 reaktoria 19 vuoden aikana Suomeen ja Ruotsiin vuosina 1966–1985. Lisäksi Dahlbacka esitteli Westinghousen AP1000-painevesireaktorin ominaisuuksia. Petra Lundström (Fortum) kertoi ydinvoiman tulevaisuuden näkymistä. Hän toi ilmi faktan, että jos haluamme Suomessa olevan ydinvoimaa vielä vuosisadan loppupuolella, sen eteen täytyy kehittää, tutkia ja tehdä ratkaisuja juuri nyt. Fortum tutkimuksellaan valmistautuu nykyisen ydinvoimakapasiteetin korvaamiseen uudella vanhan tullessa ajan saatossa käyttöikänsä loppuun.

Symposiumin tekniset osuudet sisälsivät varsin yksityiskohtaista tietoa hyvin erilaisista aiheista. Pienydinvoimaa ja neljännen sukupolven reaktoreja käsittelevässä osiossa päästiin kuulemaan alan ajankohtaisesta tutkimustyöstä. Pyry-Pekka Koistinen (Fortum) esitteli oman diplomityönsä tuloksia aiheesta "Operational Maturity of GEN IV Reactor Designs". Tarkassa tutkimustyössä paneuduttiin maailmalta tulleisiin käyttökokemuksiin neljästä eri neljännen sukupolven reaktorista. Luomallaan matriisilla Koistinen arvioi kyseisten reaktoreiden teknistä valmiutta ja käytettävyyteen liittyviä haasteita.



DI Vesa Laitinen

Ydinjätteiden & ydinlaitosten
käytöstäpoiston asiantuntija
Platom Oy
vesa.laitinen@platom.fi



DI Veera Rantavaara

Lisensiointi- ja turvallisuusasiantuntija
Steady Energy Oy
veera.rantavaara@steadyenergy.fi



FT Otto Fabritius

Postdoc-tutkija, tutkimusryhmän johtaja
Helsingin yliopisto – Radiokemia
otto.fabritius@helsinki.fi



Elinkeinoministeri Sakari Puisto (PS) toi hallituksen terveiset SYP-osallistujille ja korosti avauspuheessaan ydinvoiman tärkeyttä Suomen energiantuotannon kulmakivenä (kuva: Otto Fabritius).

Hannu Tuulensuu (Steady Energy) esitteli LDR-50-turvallisuusratkaisujen nykyistä tilannetta. Esityksessä saatiin kuulla LDR-50-referenssilaitoksen lisensointivaiheista, nykyisestä konseptivaiheesta sekä reaktorin teknologiasta. Konseptisuunnitteluvaiheessa korostuu tiivis yhteistyö ydinturvallisuuden, lisensoinnin, suunnittelun ja järjestelmäsuunnittelun välillä. Vaatimustenhallinta ja turvallisuusanalyysit ovat osana ydinvoimalaitoksen suunnittelua heti alusta alkaen.

Yhdessä tiistain pääpuheenvuoroista Veli-Pekka Nurmi (TVO) puhui turvallisuuskulttuurin merkityksestä. Luottamus turvallisuuteen on ydinenergia-alan kulmakiviä. Sen lisäksi, että laitoksilla ja yritysten sisällä rakennetaan kattavaa turvallisuuskulttuuria, myös yhteistyö eri viranomaisien kanssa on erityisen tärkeää ydinvoima-alalla.

Jokaisessa näistä puheenvuoroista korostui kuitenkin yhteinen suuri teema. Nurmi tiivistä loistavasti, että suomen kielellä riittää yksi sana "turvallisuus". Englannin kielessä tarvitsemme jopa kolme eri sanaa "safety, security, defence". Näistä viimeisin on noussut uuteen merkitykseen Ukrainan tapahtumien myötä, kun on nähty, kuinka häikäilemätön suurvalta on valmis käyttämään globaalin ydinturvallisuuden vaarantamista pelinappulanaan omien tarkoituseriensä edistämiseksi. Turvallisuus kaikissa eri muodoissaan on siis keskeinen osa ydinvoima-alaa eilen, tänään ja huomenna.

Esitysten välissä saimme nauttia kahvista ja pienestä purtavasta. Kahvitaukojen lomassa pystyi tutustumaan näyttelyalueeseen, jossa oli eri ydinalan yrityksiä esillä. FinNuclear Oy oli koordinoinut näyttelytilan ja näyttelyleasettajat. Kahvitaukojen ai-

kana käytiin mielenkiintoisia keskusteluja sekä verkostoiduttiin yli yhtiö-, kansalaisuus- ja sukupolvirajojen.

FUUSIOKUULUMISIA

Kuulimme naapurimaan suunnalta viisaita sanoja Carl Berglöfin (Ruotsin Ilmasto- ja elinkeinoministeriö) todetessa, että (perinteisessä) ydinvoimassa reaktorifysiikka on vielä helppoa, mutta ihmisten vakuuttaminen ydinvoiman eduista ja turvallisuudesta on haastava tehtävä. Tomas Lindénin (Helsinki Institute of Physics) esityksessä saimme nähdä, että fuusion kannalta tilanne on periaatteessa päinvastainen: vaikka fuusiovoimalaitosten tuleminen on vielä jonkin ajan päässä tulevaisuudessa, kyselytutkimusten mukaan fuusiovoimaan suhtaudutaan Euroopassa jo nyt pääosin myönteisesti. Yllätyksenä ei toki tule, että fuusio saa suurimman kannatuksen maissa, joissa ydinvoima ylipäätään nauttii kansan luottamusta. Yksi näistä maista on Suomi.

Teknologian saralla kysymyksiä kuitenkin on vielä ratkottavana. Esimerkiksi materiaali- ja tekniikkaan liittyvät haasteet ovat keskeisessä osassa, sillä fuusioreaktorin olosuhteet superkorkeine lämpötiloineen ovat hyvin anteeksiantamattomia varsinkin niille rakenteille, jotka joutuvat kosketuksiin plasman kanssa. Eroosio saa ilmi-önä tällaisessa ympäristössä aivan uuden merkityksen, kuten kuultiin Samuli Saaren (VTT) eroosiomallinnusta käsittelevässä esityksessä.

Helpommaksi asiat eivät muutu myöskään kunnossapidon saralla, kun tarkastellaan esimerkiksi tokamak-tyyppistä DEMO-reaktoria: Karoliina Salmisen (VTT) esitelmä havainnollisti, kuinka noin

sata tonnia painavat ja mittavan kokoiset tritiumin hyötöelementit (breeding blanket) tulisi saada vaihdettua hyvin ahtaissa olosuhteissa, joissa liiketoleranssit mitataan sentti- tai millimetriluokassa. Korkeiden säteilytasojen vuoksi tämä tulee toteuttaa täysin etäohjatusti.

Tekniikan lisäksi selvästi helpommin ratkaistava mutta kuitenkin vielä avoin asia on fuusiovoiman sääntely. Pisimmällä säädännön kanssa lienevät Yhdysvallat, Iso-Britannia ja Saksa, joissa on ryhdytty aktiivisiin toimenpiteisiin fuusion oman ekolokeron löytämiseksi. Suomessakaan ei ole jääty vain sivusta seuraajaksi, sillä ydinenergian kokonaisuudistuksen myötä fuusioenergia on tarkoitus siirtää säteilylain alaiseksi toiminnaksi.

Myös muiden valtioiden kehityssuuntia tarkastelemalla on selvää, että kansallisen regulaation tasolla fuusio halutaan erottaa perinteisestä ydinvoimasta erilleen oman ja kevyemmän sääntelyn piiriin, turvallisuuden graded approach -periaatetta noudattaen. Mahdollistavien viranomaisympäristöjen luonti yhdessä mittavien kansallisten fuusiostrategiaohjelmien kanssa kuvastaa sitä, että usko fuusion läpimurtoon on vahva, eivätkä valtiolliset toimijatkaan halua jäädä tästä junasta paitsi.

Ylipäätään fuusio elää tällä hetkellä tietynlaista kultakautta, joka ei toki ole sen historian aikana ensimmäinen kerta. Perinteisesti fuusiokehitys on kuitenkin ollut lähinnä vain tutkimuslaitosten agendalla, kun viime vuosina mukaan on saatu voimakkaasti myös yksityisen puolen toimijoita. Tästä kertoo esimerkiksi se, että viimeisen neljän vuoden aikana yksityisten fuusioyritysten lukumäärä on yli kaksinkertaistunut reilusta kahdestakymmenestä yli viiteenkymmeneen, ja yhtiöille myönnetty

Philip von Segebaden esittelee Novatronin fuusioreaktorikehityksen tiekarttaa. Parhaassa tapauksessa kolmannen vaiheen pilottireaktori N3 löytäisi kotinsa Suomesta (kuva: Vesa Laitinen).

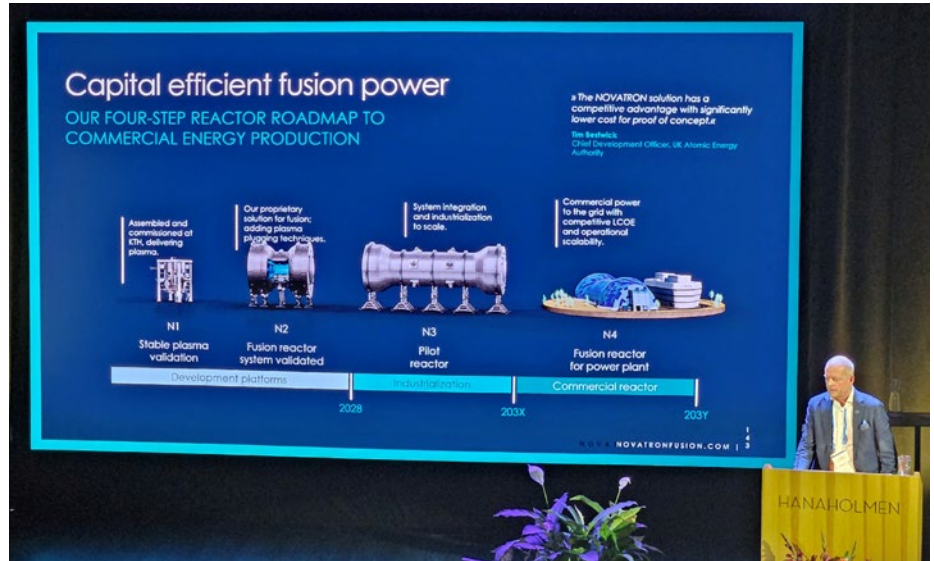
kokonaisrahoitusmäärä on jo noin 10 miljardia dollaria. Yksityisen puolen aktiivisia valtioita ovat selkeästi Yhdysvallat ja Kiina.

Vaan toimeentulo ei ole jäänyt pohjoismaissaan. Ruotsalainen Novatron Fusion Group kehittää omaa valtavirrasta poikkeavaa, magneettisiin peileihin perustuvaa fuusioreaktorikonseptiaan, jonka ensimmäinen prototyyppi on Tukholmassa jo kovassa ajossa. Novatronin Philip von Segebadenin puheenvuorossa kuultiin, kuinka tämä konsepti olisi fuusiotutkimuksen puuttuva palanen, joka pyrkii ratkaisemaan yhden merkittävimmistä fuusioteknologian ongelmista eli plasman epästabiiliuteen liittyvät haasteet.

Suomen näkökulmasta Novatron-reaktori on erityisen mielenkiintoinen siksi, että sen varsinainen pilottireaktori saatetaisiin toteuttaa Suomen maaperällä, joka on juuri valmistuneen VTT:n alustavan selvityksen mukaan laitokselle soveltuvain sijaintipaikka Pohjoismaissa. Aika näyttää, jääkö Novatron tähdenlennoksi, vai siivittääkö se ihmiskunnan matkaa Kardašovin asteikolla eteenpäin.

TERVEISIÄ ELINKAAREN LOPPUPÄÄSTÄ

Konferenssissa olivat vahvasti esillä myös ydinjätteen loppusijoitukseen ja ydinlaitosten käytöstäpoistoon liittyvät aiheet. Aihepiiriin sisällä kenties kaikkein suurimmalla mielenkiinnolla Suomessa ja myös maailmalla seurataan Posivan kapselointi- ja loppusijoituslaitosten käyttöönoton edistymistä ja sitä päivää, kun käytettyä ydinpolttoainetta loppusijoitetaan maailmassa ensimmäistä kertaa koskaan – kotimaan vakaaseen kallioperään. Suomalaisen pioneerihankkeen viimeisimpiä kuulumisia oli Posivalta kertomassa Johanna Hansen, joka on myös itse työskennellyt projektin parissa huomattavan pitkään. Punaista avajaisnauhaa ei olla aivan vielä leikkaamassa, mutta mikäli erikoisempia yllätyksiä ei satu matkan varrelle, se hetki ei ole kuitenkaan kaukana.



Posivan kartuttamassa inhimillisessä pääomassa on ehdottomasti lupaan kotimaisen vientituotteen aineksia. Ydinjäteosaamiselle on nähtävissä kasvavaa kysyntää laajemmastakin näkökulmasta katsoen, sillä uusien laitoshankkeiden rinnalla tullaan tulevana vuosikymmeninä näkemään kasvava buumi myös ydinlaitosten käytöstäpoiston saralla.

Joseph Ridao (Karlsruhe Institute of Technology) kertoi esityksessään, että käytöstäpoistoprojektien lukumäärä maailmanlaajuisesti tulee vuoteen 2040 mennessä kasvamaan nykyisestä viidestäkymmenestä noin kahteensataan. Koska huomattava osuus näistä projekteista realisoituu Euroopassa, tulee maiden rajojen ylitse ulottuva yhteistyö tarpeeseen, jotta riittävä osaamisen taso ja määrä saadaan varmistettua.

Ruotsissa Euroopan tasolla kasvavaan ydinjättemäärään on osattu varautua jo etukäteen. Radioaktiivisia jätteitä käsittelevä ja kierrättävä Cyclife Sweden on saamassa valmiiksi laitoslaajennuksen, jonka myötä yhtiöllä on jatkossa entistä parempi kyky ja kapasiteetti ottaa käsiteltäväkseen kontaminoituneita metalleja ja entistä suurempia ydinvoimalaitosten komponentteja, kuten höyrystimiä. Leena Torpon (Cyclife Sweden AB) esitys heijasteli ylipäättään sitä, kuinka kiertotalousajattelu alkaa nostamaan päätään entistä enemmän myös ydinvoimasektorilla.

Vaikka yksittäisen ydinvoimalaitoksen elinkaarella on alku- ja loppupiste, niin laajemmassa kontekstissa ydinvoimassa on kyse jatkuvasta kehitysprosessista, jossa vanhojen laitosten käytöstäpoistonkin aikana kertyneitä oppeja käytetään syötetietona uusien laitosten kehittämisessä – tai ainakin näin pitäisi tapahtua. Tätä näkökul-

maa terävöitti Wade Karlsenin (VTT) esitelmä, joka käsitteli neutroniaktivoitumisen huomioimista uusien laitosten suunnittelussa ja materiaaliavaatimusten asettamisessa.

Pohjimmiltaan kyse on siitä, että perinteisesti ydinvoimalaitoksen reaktori-materiaalien valintaa ohjaavat valmistustekniikkaan, suorituskykyyn ja – ennen kaikkea – kustannuksiin liittyvät tekijät. Materiaalien epäpuhtauskriteerien asettamisessa ei välttämättä edes osata ottaa huomioon neutroniaktivoitumista, minkä johdosta käytön aikana rakenteisiin voi muodostua säteilyominaisuuksiltaan hankalia nuklideja. Suunnittelijan vastuu on asiassa toisaalta hyvinkin merkittävä sikäli kun materiaaliavainnoilla voidaan vaikuttaa myönteisesti tai kielteisesti hyvin pitkäikäisten nuklidien muodostumiseen (esimerkkinä hiili-14, jonka puoliintumisaika on noin 5 700 vuotta).

TUNNUSTUKSIA HYVÄSTÄ TYÖSTÄ

Hyvin tehtyä ja tärkeää työtä on syytä arvostaa, ja tänäkin vuonna jaettiin tunnustusta ydintekniikan alalla. Vuoden 2025 Pekka Jauho -tiedonjulkistamispalkinto luovutettiin Säteilysuhteiden tutkimuskeskuksen Säteilymittausjoukkueelle, joka toimii yhteistyössä Maanpuolustuskoulutusyhdistyksen ja Huoltovarmuuskoulutuksen kanssa.

Vapaaehtoisuuteen perustuva Säteilymittausjoukkueen kurssi tarjoaa varautumiskoulutusta kaikille kiinnostuneille ydinalan säteilymittausvalmiuteen liittyen. Kurssin toiminta lisää olennaisesti ydinalan näkyvyyttä, luotettavuutta ja positiivista viestintää tarjoamalla asiaan liittyvää



Vuoden 2025 Pekka Jauho -palkinnon saajat. Keskellä ja oikealla ylitarkastaja Petri Smolander ja johtava asiantuntija Jukka Sovijärvi (molemmat STUK). Vasemmalla ATS-johtokunnan varapuheenjohtaja ja palkinnon ojentaja Antti Hakola (kuva: Taina Kurki-Suonio).

koulutusta ja tietoa kaikille vapaaehtoisille taustasta riippumatta. Palkintoa olivat vastaanottamassa kurssin perustajat ja vetäjät Petri Smolander ja Pekka Sovijärvi (molemmat STUK). Palkintoraha lahjoitetaan heidän toiveestaan Mannerheimin Lastensuojeluliitolle kiusaamisen vastaiseen työhön.

Palkinnonjaon jälkeen Sovijärvi antoi tätä artikkelia varten lyhyen kuvauksen kurssin historiasta, nykyhetkestä ja tulevaisuuden suunnitelmista. Idea siitä, että säteilyonnettomuuksiinkin liittyvää kansalaisvalmennusta tulisi tarjota, syntyi vuonna 2017, kun kurssin perustajat osallistuivat yleisluontoisemmalle varautumiskurssille.

Ensimmäinen säteilymittausjoukkueen kurssi pidettiin jo vuonna 2018 muun muassa STUKin ja Maanpuolustuskorkeakoulun (MPKK) yhteistyönä. Kurssi oli menestys heti alusta alkaen: ensimmäisellä kurssilla oli jo 20 osallistujaa ja palaute oli hyvää. Tämän jälkeen kurseilla on vuosittain ollut noin 30 osallistujaa. Kurssin aiempina vuosina käyneille tarjotaan nykyään jo kertauskoulutusta, ja tulevaisuudessa tavoitteena on yhä parantaa kurssin tasoa ja pitää yllä nousujohteisuutta.

Kuka tahansa voi osallistua kurssille tietotasosta riippumatta, ja kiinnostuneiden kannattaa seurata MPKK:n kurssikalenteria. Seuraava kurssi järjestetäänkin jo

kevättälvella 2026. Sovijärvi vinkkasi myös, että kouluttajatehtävistäkin kiinnostuneiden kannattaa rohkeasti olla yhteyksissä kurssin johtoon. Haastattelun loppuun Sovijärvi halusi vielä kiittää tunnustuksesta: "Palkinto on iso kunnia. Ja yllätys!".

Myös ansiokas esitelmöinti on tärkeää tiedonlevitystä. Tämän vuoden SYPin parhaan esitelmän palkinnon äänestyksen voitti Weronika Wojnicka (Fortum) teknisellä esitelmällään "Applicability of NURES® Ion Exchange Materials for Holistic Radioactive Liquid Waste Treatment". Wojnickan esitelmä antoi innostuneen ja mielenkiintoisen katsauksen ioninvaihtomateriaalien kehitystyöstä matala- ja keskiaktiivisen nestemäisen ydinjätteen käsittelyssä. Ioninvaihtohartsien ja -materiaalien kehityksellä parannetaan olennaisesti ydinjätteen dekontaminaatiotoimpiteiden tehoa ja helpotetaan vaarallisten aktiivisuuslähteiden, kuten Cs-134 ja Cs-137, talteenottoa nestemäisestä ydinjätteestä välivarastoinnin ja loppusijoittamisen sujuvoittamiseksi.

LOPUKSI

Tässä lehtijutussa esitetään vain sattumanvarainen otanta osasta tapahtumassa kuultuja esityksiä. Konferenssi oli kuitenkin täynnä korkealaatuisia ja toinen toistaan täydentäviä esitelmiä, joiden läpikäymiseen voisi käyttää ATS Ydintekniikka-lehden yhden kokonaisen julkaisun. Artikkelin laatijat kiittävät hyvin järjestystä ja onnistuneesta tapahtumasta sekä konferenssin järjestäjiä että osanottajia, ja luovat odottavat katseet jo kohti seuraavaa SYPIä vuonna 2028. 🌟



SYP2025:n parhaan esitelmän palkinnon nappasi Weronika Wojnicka (Fortum, keskellä). Palkinnon jakoivat SYP-konferenssitoimikunnan edustajat Taina Kurki-Suonio (vasemmalla) ja Markus Airila (oikealla) (kuva: Tapani Ryyttänen).

SYP2025:N OHEISTAPAHTUMA: MITÄ PIENYDINVOIMA TARKOITTA KULUTTAJALLE JA ASUKKAALLE?

Women in Nuclear Finland (WiN) järjesti suurelle yleisölle suunnatun keskustelutapahtuman Hanasaassa Suomalaisen Ydintekniikan Päiviä (SYP2025) edeltäneenä iltana 20.10. Tapahtumaan osallistui noin 60 henkeä ydinvoiman ammattilaisista tavallisiin kansalaisiin.

Teksti: Unna Lauranto
Kuvat: Jenna Järvenpää



DI Unna Lauranto
Tutkija

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
unna.lauranto@vtt.fi

Espoon Hanasaassa järjestetty SYP-2025-konferenssi 21.–22.10.2025 kattoi ydintekniikan alan tieteen, tutkimuksen ja teollisuuden näkökulmat. Edeltävänä iltana järjestetyn oheistapahtuman tarkoituksena oli sen sijaan keskustella pienydinvoimasta ja erityisesti lämmöntuotannosta, jossa tarve sijoittaa laitos asutuksen läheisyyteen tuo mukanaan uusia kysymyksiä.

Keskustelun tavoite oli avata tavallisia asukkaita askarruttavia kysymyksiä. Tapahtumassa kuultiin esityksiä ja keskustelua muun muassa valvovan viranomaisen, luvanhaltijoiden sekä poliitikkojen näkökulmasta. Yleisölle annettiin mahdollisuus esittää kysymyksiä kaikille asiantuntijoille.

Tapahtumaa juonsi ydinturvallisuusneuvottelukunnan (YTN) puheenjohtaja Liisa Heikinheimo. Myös WiN:n puheenjohtaja Jenna Levo esittäytyi ja korosti WiN:n missiota ennen kaikkea tiedonsiirtokehtävänä ammattilaisilta maallikolle.

KAIKKI ALKAA TURVALLISUUDESTA

Ensimmäisen puheenvuoron sai STUKin johtava asiantuntija Minna Tuomainen. Hän selitti STUKin roolin olevan ydinvoiman turvallisuuden valvoja, jonka tehtävänä ei ole ottaa kantaa energiapolitiikkaan. Hän korosti pienreaktorikonseptien kirjon olevan laaja, jolloin yleistä ei juuri voi tehdä – kaikki konseptit on tarkasteltava tapauskohtaisesti.

Yleisöstä saatiin hyviä peruskysymyksiä, kuten mitä luvanhaltijalla tarkoitetaan. Yleisöstä heräsi myös monia askarrut-

tava kysymys siitä, minkä kokoiset tai tehoiset laitokset määritellään pienreakto-reiksi (engl. Small Modular Reactor, SMR). STUKin näkemys on yksinkertainen: SMR:t ovat ydinlaitoksia siinä missä muutkin, joten STUK ei määrittele, mikä on SMR-laitos ja mikä ei. Tähän kysymykseen emme siis saaneet suoraa vastausta, mutta yleinen konsensus taitaa olla, että pienydinreaktori on alle 300 MWe tehoinen reaktori.

LÄMPÖÄ JA SÄHKÖÄ

Seuraavana puhujana oli Steady Energyn toimitusjohtaja Tommi Nyman. Hän esitteli LDR-50-lämpöreaktorikonseptin, jonka keskiössä on teknologian yksinkertaisuus. Nyman vertasi eroja suuren sähköntuotantolaitoksen ja pienen lämpöreaktorin välillä. Hän kertoi LDR-pilottilaitoksen rakentamisen Helsingin Salmisaareen alkavan vuoden loppupuolella. Pilottilaitoksen tarkoituksena on selvittää niin teknologisia kuin kaupallisiakin haasteita, kuten laitoksen tuotantoketjun toimivuutta.

Sähköntuotantopuolesta kertoi Fortumilla sääntelyasioiden johtajana toimiva Malla Jääskeläinen. Hän esitteli Fortumin tavoitteita energian lautasmaallilla: sähköverkossa tulisi olla tasapaino vakaan, joustavan ja vaihtelevan tuotannon välillä. Näistä vaihtoehtoista ydinvoima edustaa vakaata perusvoimaa. Jääskeläinen mainitsi myös Fortumin tänä vuonna julkaiseman soveltuvuusselvityksen tuloksista.

Helenin ydinenergiaohjelman johtaja Janne Liuko jatkoi kertomalla pienydinlaitosten sijoittamismahdollisuuksista Helsinkiin. Vuonna 2023 Helen ja Steady Energy solmivat aiesopimuksen, joka



mahdollistaisi jopa kymmenen reaktoriyksikön hankkimisen. Helenin tavoitteena on pienydinvoiman käyttöönotto 2030-luvulla. Selvitykset mahdollisista laitospaikoista ja liiketoimintamalleista ovat meillä.

PANELISTIEN AJATUKSIA

Paneelikeskusteluun, jonka juonsivat Liisa Heikinheimo ja Jorma Aurela, osallistuivat kansanedustajat Atte Harjanne (Vihreät) ja Mikko Polvinen (PS), STUKin johtava asiantuntija Marja-Leena Järvinen sekä Helsingin kaupungin yleiskaavapäällikkö Pasi Rajala. Päättäjätahoilta saimme kuulla luottamuksen ääniä suomalaisen "ydinosaamiseen" ja tutkimukseen.

Marja-Leena Järvinen korosti kansallisen tutkimusohjelman tärkeyttä myös osaamisen kehittämisessä. On kommunikaation ja turvallisuuden kannalta relevanttia, että ydinalan kaikki osapuolet ovat osaamisen kannalta samalla tasolla. Pienydinvoiman kaavoituksen suhteen ei vaikuttanut nousevan mitään ylitsepääsemättömiä teknisiä esteitä, mutta sosiaalisen hyväksyttävyyden tärkeyttä korostettiin.

Kuhmon kaupunginhallituksen varapuheenjohtajanakin toimivan Mikko Polvisen mukaan pienydinvoimalat kiinnostavat myös pienemmillä paikkakunnilla, joihin saattaa syntyä suuri sähköntarve mahdollisesti rakennettavien datakeskusten takia. Tämä kirvoitti yleisöstä kriittisiä kommentteja, joissa kyseenalaistettiin datakeskusten järkevyys: onko järkevää rakentaa lisää tehoa toiminnalle, joka ei tuota Suomelle juurikaan vientituloja?

Yleisesti ottaen vallitsi yhteisymmärrys siitä, että tiedolle ja keskustelulle on tarvetta suuren yleisön tasolla. Ydinalalla on ollut

Tapahtuman kruunasi paneelikeskustelu aiheella "Mitä pienydinvoima tarkoittaa?"

tapana kommunikoida maallikoille korostaen ennen kaikkea turvallisuutta: "Safety first". Tämä täytyykin ammattilaisten työsäännön pitää aina mielessä. Kansanedustaja Harjanne tosin muistutti, että ulkopuolisen vastaanottajan korvaan tämä voi muuntua muotoon "Danger first". Ydinoima-alan viestinnässä on siis vielä hiottavaa. 🌀

Kiitokset tämän tapahtuman järjestämisestä kuuluvat Jenna Järvenpäälle, Liisa Heikinheimolle, Taina Kurki-Suoniolle ja Jenna Levolle (vasemmalta oikealle).



FUUSIOENERGIAA POHJOISMAIHIN? EDELITYKSET MENESTYKSELLE

Noin neljännesvuosisata sitten Ultra Bra lauloi ensimmäistä kertaa unohtumattoman säkeen ”eikä vieläkään tuulivoimaa”. Me kirjoittajat olemme sitä sukupolvea, joka ihmetteli, mahtaako koskaan tullakaan. Saman säkeen voisi nyt muuttaa muotoon ”eikä vieläkään fuusiovoimaa”. Fuusioteknologia alkaa lähestyä pistettä, jossa sen käyttöönotto alkaa näyttää entistä todennäköisemmältä. Käynnissä on suurta kultaryntäystä muistuttava globaali kisa siitä, mitkä fuusioreaktoripilotit johtavat ensimmäisenä kaupalliseen tuotantoon ja mitkä jäävät kisassa auttamattomasti jälkeen.

Teksti: Paula Keto ja Markus Airila

Kuvat: Novatron Fusion Group

Pohjoismaiden ainoa kaupallinen fuusioyhtiö, vuonna 2019 perustettu ruotsalainen Novatron Fusion Group järjesti yhdessä energiayhtiö St1:n kanssa Nordic Fusion Forum (NFF) -tapahtuman Espoon Hanasaareissa juuri ATS:n SYP2025-konferenssin alla 20.10.2025. Käymme tässä ajankohtaisartikkelissa läpi tapahtuman antia teemoittain aloittaen Novatronin projektista, jonka ympärille tapahtuma rakentui.

MISSÄ PÄIN POHJOLAA PANNU PORISEE?

Novatron kehittää fuusioreaktoria, jossa magneettinen koossapito perustuisi niin

sanottuun peili- ja karkikonfiguraatioiden yhdistelmään (mirror-cusp), mikä poikkeaa olennaisesti tokamakien ja stellaraattoreiden muodostamasta magneettisen koossapidon valtavirrasta. Päistään avoin Novatron-konsepti perustuu yhtiön toisen perustajan Jan Jäderbergin keksintöön ja on muodoltaan tunnusomaisen tiimalasi-mainen. Laitoksen mahdollisena etuna olisivat suhteellisen yksinkertainen rakenne ja helpompi huollettavuus verrattuna esimerkiksi tokamakeihin.

Konseptin toimivuuden osoittaminen käytännössä on vasta alussa. Ensimmäinen Novatronin pilotti N1 on tällä hetkellä toiminnassa Tukholmassa KTH:n tiloissa, ja sillä testataan, onko plasma todella niin stabiili kuin mallit ennustavat. Novatronin kunnianhimoinen suunnitelma on tämän jälkeen rakentaa jonkin verran suurempi ja huomattavasti tehokkaampi N2-koelaitte

Tukholman seudulle vuonna 2028. N2:lla pitäisi pystyä osoittamaan, että Novatron-konseptilla voidaan saavuttaa riittävä koossapito, estäen tehokkaasti myös plasman vuoto reaktorin ”avoimista” päädyistä.

Teollisen mittakaavan pilotti N3 tuotaisi 2030-luvulla jo jonkin verran fuusioenergiaa (muttei nettosähköä) joko Ruotsissa, Suomessa, Tanskassa tai Norjassa. Lopullisena tavoitteena on aloittaa energiantuotanto N4-reaktorilla 2040-luvulla. Novatron puhuu vahvan Pohjoismaisen fuusioekosysteemin rakentamisen puolesta olennaisena edellytyksenä tämän projektin onnistumiselle.

Jotta N3-laitoksen rakentamiseen päästäisiin ilman viivytyksiä, Novatron pyysi kesällä 2025 VTT:tä selvittämään N3-laitoksen paikanvalintakriteereitä ja alustavaa paikanvalintaa¹. Paikanvalintakriteereiden kehityksessä huomioitiin kussakin maassa fuusiopilottilaitokselle sovellettava lainsäädäntö (säteilylaki tai ydinenergilaki), suojavyöhykkeen suuruus, fuusio-osaamiskeskusten sijainti ja osaavan henkilökunnan saatavuus, logistiikka, tekniset vaatimukset koskien jäähdytystä ja sähköverkkoa ja vastaavissa eurooppalaisissa hankkeissa sovelletut muut kriteerit ja ulkoiset uhat (esimerkkinä tulviminen).

Koska Suomessa pilottilaitokselle sovellettaisiin uuden ydinenergilain mukaan säteilylakia, Suomen pääkaupunkiseutu nousi VTT:n selvitystyössä hienoisesti suosikiksi ohi Ruotsin (alue väliällä Tukholma–Nyköping) ja Juutinrauman alueen (Lund, Malmö, Kööpenhamina,



FM Paula Keto

Vanhempi tutkija, geologi
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
paula.keto@vtt.fi



Tkt Markus Airila

Tutkimusryhmän johtaja, fuusioenergia
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
markus.airila@vtt.fi

Risø). Selvityksessä nousi esiin myös muita potentiaalisia alueita jokaisessa maassa, myös Norjassa, mutta seuraavassa vaiheessa tarkempi paikanvalinta keskittyy näille kolmelle kohdealueelle.

HANAHOLMEN-HANASAAREN HENGESSÄ

Nordic Fusion Forumissa korostui vahva Suomi–Ruotsi-yhteistyön henki tapahtumapaikankin puolesta. Portaikon seinällä Kekkonen ja Kaarle XVI Kustaa myhäilivät nähdessään, millaista yhteistyötä heidän puoli vuosisataa sitten käyttöön vihkimänsä ruotsalais-suomalainen yhteistyö- ja kulttuurikeskus pääsi tällä kertaa hautoamaan.

Tilaisuuden avasi St1:n toimitusjohtaja Henricki Talvitie, jonka mukaan nykyisillä energiayhtiöillä on vahva rooli energiasiirtymässä ja fuusion kehittämisessä. Novatronin toimitusjohtaja Peter Roos painotti Pohjoismaisen ekosysteemin ja valtioiden tuen tärkeyttä ja sitä kuinka seuraava vuosikymmen on kriittinen fuusion kehittämisen suhteen. Tilaisuudessa poliittista tahtotilaa fuusion edistämiseen vahvisti Suomen ympäristö- ja ilmastoministerin Sari Multalan puheenvuoro.

Seuraavien puheenvuorojen ja paneelien perusteella hahmottui kuva siitä, mitä Pohjoismaissa tulisi tehdä oikein, jotta fuusio olisi jossain vaiheessa aito vaihtoehto energiantuotannossa, unohtamatta fuusiolaitoksen muita mahdollisia "tuotteita", esimerkiksi neutroneja lääketeollisuuden tarpeita varten.

FUUSION KANSAINVÄLINEN JA KANSALLINEN SÄÄTELY JA STRATEGIAT

EU:n fuusiostrategia julkaistaan alustavan aikataulun mukaan loppuvuonna 2025. Tähän mennessä mikään Pohjoismaista ei ole vielä laatinut omaa fuusiostrategiaansa, mutta Pohjoismailla olisikin nyt mahdollisuus edistää yhteistä strategiaa ja ottaa se huomioon myös Pohjoismaisen lainsäädännön kehittämisessä ja harmonisoinnissa. Esimerkillisenä mallina voisivat olla Ison-Britannian laatima fuusiostrategia ja lainsäädännön kehitystyö, joita UK Atomic Energy Authorityn Nicola Barber esitteli NFF:n yleisölle.

Yhtenä oleellisimpana seikkana lainsäädännön kehitystyössä pidetään fuusio- ja fissiolainsäädännön eriyttämistä. Kehuja sai myös Suomen kaksivaiheinen malli, jossa fuusiokoelaitos tulee olemaan



Shaping Tomorrow's Energy



westinghousenuclear.com



Novatronin N1-pilottireaktori Tukholmassa KTH:n tiloissa.

säteilylainsäädännön eikä ydinenergiain piirissä. Mikäli fuusiosta syntyy kaupallista toimintaa, säätelyä voidaan kehittää edelleen omaksi laikseen. Vaihtoehtona on pitää fuusion säätely ydinenergiain alla, mutta tämä voi johtaa fuusion turhan jäykkään säätelyyn.

Keskustelu lakiuudistuksesta jatkui vielä seuraavana päivänä SYP2025-konferenssissa, jolloin LUT:n energiatekniikan professori Juhani Hyvärinen muistutti, että säteilylaissa ei säädellä kattavasti esimerkiksi fuusiolaitoksen jätehuoltoa, joten jotain lisäyksiä säteilylakiin voidaan tarvita jo fuusion pilottilaitosvaiheessa.

Yhteinen konsensus vallitsi siitä, että lainsäädännön ei tulisi olla niin yksityiskohtaista, että se toimisi lähinnä fuusion innovaatioiden ja kehitystyön hidastajana. Pohjoismaiden eduksi fuusiokisassa voisi nousta kansallisen lainsäädännön ketteryys, kuten Søren Bang Korsholm (DTU, Tanska) omassa puheenvuorossaan korosti.

SIIJOITTAJIEN LASKELMAT HERÄTTIVÄT KESKUSTELUA

Useissa puheenvuoroissa (esimerkiksi Olga Bakardzhieva, Fusion Industry Association Europe) nousi esiin, että noin 75 % fuusioon liittyvistä investoinneista tehdään USA:ssa ja vain pieni osa (7 %) Euroopassa. Lisäksi myös Aasiassa ja erityisesti Kiinassa panostetaan fuusioon voimallisesti. Kansalliset investoinnit ovat tärkeitä, mutta yksityisillä yrityksillä on iso ansio viime aikojen nopeimasta kehityksestä.

Fuusion suursijoittaja Matt Trevithick (Leitmotif) oli arvioinut, että fuusion koko toimialan kustannukset ovat demonstraatiovaiheessa noin 2 miljardia dollaria vuodessa ja kaupallistamisvaiheessa noin 4 miljardia vuodessa. Yksityisistä rahoittajista vasta pieni osuus (0,3 %) uskoo fuusioon, mutta Trevithick arvoi, että fuusioon uskovien sijoittajien määrä kymmenkertastuu 2030-luvun alkaessa. Vaikka investointiriski on suuri, hän esitti oman laskelmansa, jonka mukaan tuottojen odotusarvo hajautetulle investoinnille voisi olla jopa 50-kertainen. Fortumin puheenvuorossa (Peter Strannegård, Fortum Sverige AB) muistutettiin, että energian kysyntä ja hinta tulevat vaikuttamaan investointipäätöksiin.

Globaalisti tämän hetken merkittävän fuusioyrittäjä on Commonwealth Fusion Systems, MIT:n tutkimustyön spinoff. Yrityksen ensimmäinen pilottilaitos SPARC aloittaa toimintansa jo vuonna 2027; suuremmalle laitokselle (ARC) on jo paikka valittu ja suunnitelman mukaan sekin otettaisiin käyttöön jo vuonna 2031.

AIKATAULUT JA TEKNOLOGIAN KEHITYS

Trevithickin mukaan fuusion breakeven, $Q > 1$ (termistä voitaisiin ehkä käyttää suomenkielistä vastinetta kannattavuusraja, mutta se ei ole vakiintunut käyttöön) pitää määritellä kolmella tasolla: tieteellinen, tekninen ja taloudellinen (Taulukko 1). Ottaen

huomioon, että ITER käynnistyy vuonna 2035, yksityiset yritykset todennäköisesti demonstroivat tieteellisen breakevenin yrityksen ensimmäisinä magneettisen koossapidon projekteina.

Konseptien pääkomponenttien validointi on ollut jo käynnissä 2020 alusta lähtien. Vuonna 2025 alkaisi demonstraatiovaihe ja vuonna 2030 teollinen skaalaus. Laajempi konsensus tuntuu vallitsevan siitä, että kaupallinen energiantuotanto fuusiolla alkaisi 2040-luvulla.

Nämä aikatauluarvot toki heijastelevat startupien yleisesti optimistista mielenmaisemaa. Myöskään kukaan ei voi varmuudella sanoa, että mikä tai mitkä konseptit lopulta voittavat ja mitkä jäävät jumiin teknisten ongelmien ratkaisuun tai kaa tuvat johonkin muuhun ongelmaan. St1:n Linda Werner painotti, että vahva viesti globaaleille markkinoille tulisi olla, että fuusion aika on nyt eikä myöhemmin.

KOULUTUSTARPEET LAAJENEVAT FYSIIKAN ULKOPUOLELLE

Fuusion koulutusta pidettiin yhtenä tärkeimpänä asiana fuusioprojektien onnistumiselle. Luonnollisesti plasmafysiikan osaajat ovat avainasemassa, mutta tarvitaan paljon myös muuta laitosten paikanvalintaan, luvittamiseen, rakentamiseen, käyttövaiheeseen, turvallisuuteen ja jätehuoltoon liittyvää osaamista.

MIT:n ohjelmajohtaja José Antonio Ramosin mukaan yksi tehokkaaksi nähty tapa on ollut kouluttaa opiskelijoista yrittäjiä projektien kautta. Aalto-yliopiston Janne Laineen mukaan nyt tarvitaan panostusta fuusion näkyvyyteen ja tietoisuuteen, rahoitusta yliopistojen maisteriohjelmiin ja väitöskirjojen tuottamiseen, Pohjoismaisten yliopistojen välistä yhteistyötä ja tukea spin-off-yhtiöiden perustamiseen.

Lisäksi viranomaispuolella tulisi olla riittävästi osaamista fuusion säätelyä varten. Fuusion sosiaalisen hyväksyttävyyden var-

Taulukko 1. Fuusioenergian kolmen tason breakeven-rajat.

Tieteellinen breakeven (fuusioreaktion lämpöenergia)	Fuusioireaktioissa vapautuu enemmän energiaa kuin plasmaan absorboituu kuumennustehoa. On jo saavutettu laserfuusiokokeissa NIF:ssä (National Ignition Facility, Kalifornia, USA, ensimmäisen kerran 5.12.2022). Korkein magneettisen koossapidon laitteissa saavutettu arvo on $Q = 0,67$ (JET, Iso-Britannia, 1997).
Tekninen breakeven (fuusiolaitoksen sähköenergia)	Fuusiolaitos tuottaa nettosähköä, eli syöttää verkkoon enemmän tehoa kuin ottaa verkosta.
Taloudellinen breakeven (fuusiolaitoksen tuotot vs. kustannukset)	Fuusiovoimalla tuotettu sähköntuotanto on taloudellisesti kannattavaa, huomioiden sähkömarkkinoiden tilanne ja laitoksen koko elinkaaren kustannukset ja myös mahdolliset yhteiskunnan tuet.



Paneelissa keskusteltiin fuusion sääte-
lystä ja tulevaisuudesta. Keskustelijoina
olivat Jussi Heinonen (STUK), Nicola
Barber (UKAEA), Philip von Segebaden
ja Mårten Löfberg (molemmat Novatron
Fusion Group).

mistamiseksi on tärkeää pystyä valistamaan
päättäjiä ja laajemmin koko Pohjoismaista
väestöä fuusion ja fission eroista.

EKOSYSTEEMIN ON AIKA MUUTTUA TEOLLISUUS- VETOISEKSI

Fuusion ekosysteemin täytyy kasvaa
Pohjoismaissa, koska on kohtuuton vaa-
timus, että vain yksi yksityinen yritys



Leitmotifin perustaja ja johtava osakas
Matt Trevithick puhui fuusiosta investoi-
jan näkökulmasta.

Novatron johtaisi koko fuusion kehitystä ja
kasvua Pohjoismaissa. Jotta fuusion teol-
linen skaalaus olisi mahdollista, tarvitaan
laajat alihankintaketjut eri aloilta ja paljon
uusia innovaatioita, joilla on käyttöä myös
muilla teollisuudenaloilla.

Tämä tuo kasvumahdollisuuksia myös
kotimaisille ja pohjoismaalaisille toimijoil-
le, vaikkakin alkuvaiheessa uusilta tulok-
kailta vaaditaan tiettyä tienraivaajajenkeä
ja sitkeyttä sekä uskoa fuusioon kannat-
tavana investointina. Jo nyt osa innovaa-
tioista, kuten fuusiolaitosten metalliosien
3D-tulostus (Daniel Gidlund, Freemelt) on
kannattavaa liiketoimintaa.

YLEINEN HYVÄKSYTTÄVYYS JA JÄTEHUOLTO

Yleisen hyväksyttävyyden osalta merkittä-
vää on kommunikointi fuusion eduista sekä
eroista fuusion ja fission välillä. Toimijoiden
pitäisi pystyä välttämään katteettomia lu-
pauksia huolimatta rahoittajien paineista.
VTT:n puolesta olemme pitäneet esillä sitä,
että kestävä luottamuksen saavuttaminen
edellyttää avoimuutta teknologian todelli-
sesta kypsyydestä ja esimerkiksi fuusion jä-
tehuoltokysymyksistä. Vaikka fuusiolaitos
ei tuota korkea-aktiivista jätettä, matala- ja
keskiaktiivisen jätteen volyymi voi olla yllät-
täen suurempi kuin fission perustuvalla

laitoksella, koska fuusioreaktorinkin raken-
teet aktivoituvat käytön aikana eikä reaktori-
kammiassa ole vettä rajoittamassa neutro-
nien leviämistä kohti rakenteita.

Toinen olennainen osa reaktorin tuot-
tamasta radioaktiivisesta jätteestä ovat
tritiumilla kontaminoituneet rakenteet ja
muut materiaalit. Tritiumin suhteellisen ly-
hyt puoliintumisaika on etu loppusijoituk-
sen turvallisuuden kannalta, mutta toisaal-
ta tritium on hyvin liikkuvaista ja siitä tulee
väistämättä syntymään ilmakehään jonkin
verran kaasumaisia päästöjä, samoin kuin
ydinvoimalaitoksissa. Tritiumin lisäksi on
otettava huomioon muut mahdolliset ra-
dioaktiiviset tai vaaralliseksi jätteeksi luo-
kiteltavat jätteet. Tästä syystä laitoksen
paikanvalintakriteereissä on esimerkiksi
huomioitu sijoittaminen pohjavesialuei-
den ulkopuolelle.

MITÄ SEURAAVAKSI?

Novatron jatkaa sopivan paikan valintaa
N3-laitokselleen. Muiden fuusiolaitosten
tutkimus, rakentaminen ja pilotointi jatku-
vat globaalisti, ja ehkä pian kuullaan taas
uusista fuusioon liittyvistä edistysaskelis-
ta. Kenties 25 vuotta tästä eteenpäin meil-
lä on fuusioon perustuvaa energiatuotan-
toa ja myös "Eikä vieläkään fuusiovoimaa"
jää historiaan epärelevanttina laulunsä-
keenä. 

¹ P. Keto et al., Framework of siting criteria and initial assessment for siting the Novatron 3
facility in Nordic region, Report VTT-CR-00459-25 (2025).



Konferenssin ekskursion kohteeksi oli valittu Izumon suurpyhäkkö, joka sijaitsee Taishan kylässä Shimanen prefektuurissa. Pyhäkkö on yksi Japanin tärkeimmistä ja vanhimmista shintopyhäköistä.



M.Sc. Noora Pakkanen
Väitöskirjatutkija
Helsingin yliopisto
noora.m.pakkanen@helsinki.fi

JUURI OIKEANLAISTA RADIOKEMIAA: APSORC25 NOUSEVAN AURINGON MAASSA

7th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry tai hiukan tuttavallisemmin APSORC25 järjestettiin tänä syksynä 14.–19.9.2025 Japanin Matsueissa. Matsue sijaitsee Shimanen prefektuurissa noin viiden tunnin bussimatkan päässä Osakasta. Konferenssiin saapui osallistujia 27 eri maasta. Yksi jopa Suomesta.

Teksti ja kuvat: Noora Pakkanen

Osakan kansainvälisellä lentokentällä 12.9.2025 klo 11.35. Olotilaa vallitsee väsymys ja alustava, lähinnä korkeasta ilmakehän kosteudesta johtuva tuskainen hiki. Finnairin lento on saapunut kiitettävästi tunnin etuajassa kohteeseensa. Tämä tosin tuntuu sangen laihalta lohdulta huonosti nukutun yön jälkeen, jota oli säästänyt vieressään istuneen flunssaisen saksalaispariskunnan tasainen kohina.

Perinteitä noudattaen koneesta ulos astuttaessa alkaa jokaisen turistin kestävyyskuntoa syvästi koetteleva maahantulorumba, jossa selvitetään maahan pyrkivien (ei-kansalaisten) syvimmat aiheet. Helpoimmalla tästä sembalosta selvää, jos muistaa täyttää matkustustiedot "Visit Japan"-applikaatiossa ennen reissua. Näin ei kuitenkaan ollut tilanteen laita allekirjoittaneen kohdalla, joten ei auttanut muu kuin nöyrästi suunnata pitkän jonon jatkeeksi paperisen maihinnoituskortin kanssa odottamaan omaa asiointivuoroa.

Vuoron viimein koittaessa tullivirkailijan haavissa vietettiin sitten iloisesti lähes 20 minuuttia. Olin epäonnekseni ja rehellisesti merkinnyt matkani tarkoituksiksi APSORC25-konferenssin, ja tästä matkan päämäärästä haluttiin nyt nähdä konkreettisia todisteita. Valitettavasti en ollut kuitenkaan ymmärtänyt tulostaa konferenssikutsua ennen lähtöä, eikä lentokentän nettikään suostunut yhteistyöhön. Useampien vahvojen tunnistautumisten, otsalla kasvavien hikikarpaloiden ja takana lymyilevän turistijonon pidetessä, tilanteesta selvittiin lopulta kysymyksellä "Oletteko professori" ja vastauksella "Olisinpa". Ja näin matka jatkui kohti APSORCia ja Shimanen prefektuuria.

RADIOKEMIAA LAIDASTA LAITAA

Nimensä mukaisesti APSORC on Radiokemian konferenssi, joka pyrkii kokoamaan yhteen lähes kaikki radiokemian eri suuntauukset. Tapahtuman puhemiehenä toimi tällä kertaa Yasuto Igarashi Kioton yliopistosta. Aiheita konferenssiin oli onnistuttu mahdollistamaan laidasta laitaan, aina ympäristön radiokemiasta isotooppilääketieteeseen ja ydinkemiasta säteilysuojeluun. Mahtuipa mukaan myös allekirjoittaneen puhe-esitys ydinjätteen loppusijoituksessa Olkiluodon malliin.

Tapahtumaan arvioitiin osallistuneen noin 400 henkilöä kahdestakymmenestä eri maasta. Posteriesityksiä pidettiin 190 kappaletta ja puhe-esityksiä kuultiin 167 kappaletta. Kutsuttuina puhujina olivat muun muassa professori Koji



Matsuen Shiomi Nawate -kadun vartta sivuavat entisaikojen samuraikartanot. Historiallisen kadun varrelta löytyy myös Lafcadio Hearnin (myöhemmin Koizumi Yakumo) vanha asuintalo. Kohteesta toiseen liikkuminen tuli tehdä varoen, koska alueen kävelykadut olivat todella kapeita ja tie liikenteeltään vilkas.

Yoshimura (Okayama-yliopisto), professori Kenneth R. Czerwinski (Nevadan yliopisto) ja tohtori Nikolaus Hermanspahn (Ydinkoekieltojärjestö).

JAPANILLE AJANKOHTAISET AIHEET KESKIÖSSÄ

Itselleni mieleen painuvimmat esitykset käsittelivät pitkälti ympäristön radioaktiivisuutta ja siihen liittyvää näytteiden analysointia. Tadashi Mukai (Kioton yliopisto) käsitteli esityksessään Hiroshiman

atomipommituksessa muodostuneen mustan sateen kemiallista koostumusta ja sen määrittystä; Hiroyuki Matsuzaki (Tokion yliopisto) esitteli kiihdytinmassaspektrometrian (AMS) mahdollisuuksia ympäristönäytteiden analyysissä, mukaan lukien antropogeenisten ja kosmogeenisten radionuklidien analysointi; ja Michiko Fukushima (Ishinomaki Sensun yliopisto) esitteli tutkimustaan koskien radioaktiivisen keesiumin kertymistä ympäristöstä villisikoihin Fukushiman alueella sekä radioaktiivisen keesiumin kertymistä puustoon Ishinomakin alueella (Miyagin prefek-

APSORC25 järjestettiin Matsuen Kunibiki Messe -messukeskuksessa. Tilat mahdollistivat kolmen eri session yhtäaikaisen pyörittämisen. Vaikka osallistujia oli noin 400 henkeä, eivät tilat koskaan tuntuneet ahtailta.

tuuri). Suosittelen googlettamaan edellä mainittujen tutkijoiden tieteellisiä julkaisuja, jos aiheet kiinnostavat.

Hiukan suomalaisittain olin valinnut oman puhe-esitykseni aiheeksi erinäiset radiokemialliset tavat tuottaa matemaattisia parametreja ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuusanalyysia varten. Nähtävästi tämä aihepiiri ei ketään muuta ollut sen kummemmin kiinnostanut, koska muita ydinjätteen loppusijoitusta koskevia esityksiä ei sitten tapahtuman aikana kuultukaan. Se toki saattoi olla etu, koska ydinjätteen sielunelämää käsittelevä puhe-esitys poki erinomaisen suullisen esityksen palkinnon. Olipahan taas jotain kotiin tuotavaa.

PAIKALLISET TAVAT KUNNIAAN

Käyntikortit, ja etenkin niiden vaihtaminen, on Japanissa normi. Jos yksi henkilö kävi esiin käyntikorttinsa, niin tekivät myös kaikki muut hänen ympärillään; vaikka sitten kesken lihan grillaamisen. Tärkeää on, että juuri vastaanotettua käyntikorttia ei tunkaista heti taskun pohjalle, vaan sitä tulee hetken tutkiskella, tunnustella ja ihailla.

Vuoden 2022 IYNC (International Youth Nuclear Congress) Japanin Koriyamassa oli opettanut minut "oikeille" tavoille, ja olinkin tällä kertaa ymmärtänyt suunnitella itselleni PowerPointissa tyylikkää käyntikortit konferenssiin. Myönnettäkään, että kortit saattoivat olla hiukan kotikutoiset mutta kyllä ne saivat osakseen myös ihailua (ehkä lähinnä kohteliaisuudesta).

Konferenssista jäi lämpimät muistot, eikä syyskuisen Japanin lämpötilaa voi tästä vähiten syyttää. Syyskuu on Japanissa käytännössä vielä kesää, minkä vuoksi päivälämpötila heiluikin noin +30 asteen tienoilla. Myös ilmankosteus tuntui mututuntumalla olevan erittäin reipas; tarkalleen ottaen noin 80 %. Onneksi tapahtumapaikalla messukeskuksessa ilmastointi pelasi tarjoten hetkellisen helpotuksen sangen trooppisiin olosuhteisiin.

Lämpimän sään lisäksi konferenssin aikana käydyt keskustelut ja Izakaya-ruokailut japanilaisen riisiviinin kera jäivät vahvasti mieleen. Matsue kaupunkina on ihastuttava, ja sen asukkaat ovat mukavia ja avuliaita; toki kannattaa varautua siihen, että suuri osa keskusteluista käydään japaniksi, jopa hotellin vastaanotossa.



LOPUKSI

APSORC25 tarjosi hienon mahdollisuuden päästä oppimaan lisää radiokemian tutkimuksen moninaisuudesta sekä kuulla radioaktiivisuuden liittyvästä päätöksenteosta. Konferenssi on tarkoitus järjestää seuraavan kerran noin neljän vuoden päästä, ja osallistumista voin suositella hartaasti kaikille radio- ja ydinkemiasta kiinnostuneille. Tapahtuma on lämminhenkinen, ja eten-

kin opiskelijoita kannustetaan hakemaan esitystä konferenssista.

Tiiviin konferenssiviikon ja aktiivisen matkalaukkuelämän uuvuttamana koti-Suomeen oli kuitenkin lopulta miellyttävä suunnata; mielessä toki uudet tuttavuudet ja jaetut hetket. Ja perinteitä kunnioittaen kotimatalla lentokoneen vierustovereina tuhisi tällä kertaa hollantilainen flunssaan sairastunut paris-kunta. 🌐

APSORC – Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry

- Järjestetty ensimmäisen kerran 1997 Japanin Kumamotossa.
- Pyrkii tarjoamaan kansainvälisen keskustelufoorumin radio- ja ydinkemian eri aloille ja tutkimukselle.
- Järjestetään neljän vuoden välein.

PYYKILLÄ LOVIISAN VOIMALAITOKSELLA

Ydinvoimalaitoksen toimintaa ajatellessa useimmilla meistä ei ensimmäiseksi tule mieleen pyykin pesu. Valvonta-alueella syntyy kuitenkin paljon kontaminoitunutta tai muuten likaantunutta pyykkiä, joka on joko puhdistettava tai luokiteltava jätteeksi. Puhdistaminen ja dekontaminointi tapahtuu sitä varten tarkoitettussa pesulassa. Tässä artikkelissa valotetaan Loviisan voimalaitoksen pesulan toimintaa ja siihen liittyviä operaatioita.

Teksti: Silja Häkkinen

Kuvat: Minna Villikka

YVL-ohjeiden mukaan voimalaitoksen tilat, joissa ulkoinen säteilyannosnopeus saattaa ylittää arvon 3 $\mu\text{Sv/h}$, on määriteltävä valvonta-alueeksi. Valvonta-alueella liikuttaessa on käytettävä erillistä suojavaatetusta. Kontaminoituneita varusteita tai muitakaan kontaminoituneita tavaroita ei saa viedä ulos valvonta-alueelta.

Mikäli varusteet eivät ole likaantuneet käytössä, niitä voidaan käyttää uudelleen. Jos varusteet likaantuvat tai kontaminoituvat käytössä, ne toimitetaan käsiteltäväksi. Tätä varten Loviisan voimalaitoksella on radioaktiiviselle pyykille tarkoitettu

pesula, joka palvelee molempia reaktoriyksiköitä.

TYÖTEHTÄVÄN KONTAMINAATION RISKIN MERKITYS TARVITAVAAN SUOJARUSTUKSEEN

Valvonta-alueen perussuojavarustukseen kuuluvat haalarit, turvakengät, kypärät ja suojalasit. Erilaiset työtehtävät voivat kuitenkin vaatia lisävarusteiden käyttöä. Lisävarusteiden tarve syntyy, kun työskentely tapahtuu mahdollisesti kontaminoituneella alueella. Kontaminaatiovaara muodostuu esimerkiksi, jos työtä varten radioaktiivisuutta sisältävä järjestelmä avataan.

Jos työkohteella on kontaminaatiovaara, rajataan alue lisäkenkäräjalalla kontaminaation leviämisen estämiseksi. Lisäkenkäräjän sisäpuolella on käytettävä lisäsuojavarusteita. Lisäsuojavarusteiden tarkoitus on estää kontaminaation pääseminen työntekijän iholle tai perussuojavarusteiden päälle.

Lisäkenkäräjalalta poistuttaessa ylimääräiset suojavarusteet riisutaan niitä varten osoitettuihin pyykkipusseihin. Huomattavan suuri osa lisäkenkäräjoilla käytetyistä varusteista on kuitenkin kertakäyttöisiä korkean kontaminaatiotason vuoksi. Tällaiset varusteet päätyvät suoraan jätteeksi ja ne käsitellään muiden laitoksella syntyvien keski- ja matala-aktiivisten jätteiden käsittelyprosesseissa.

Työkohteessa tarvittava suojavaarustus riippuu kontaminaation riskin tyyppistä ja kontaminaation tasosta. Kontaminaatiotyyppejä ovat muun muassa ilmakontaminaatio ja pintakontaminaatio. Ilmakontaminaatiota aiheuttavat esimerkiksi radioaktiiviset aerosolit. Ilmakontaminaatiota voi syntyä myös käsiteltäessä pintakontaminoituneita vaatteita. Lisäksi kontaminaatiota voi esiintyä esimerkiksi työkohteeseen vuotavassa vedessä.

Ilmakontaminaatiolta suojautuminen vaatii muun muassa hengityssuojaimia. Nestemäiseltä kontaminaatiolta suojautuessa on käytettävä vedenpitäviä varusteita. Turvakenkien päälle puolestaan laetaan erilliset kenkäsuojat. Kenkäsuojia on erivärisiä riippuen kontaminaatiotasosta, mikä helpottaa niiden lajittelua pyykkiä käsiteltäessä.

Lisävarusteita voi tarvita myös siirryttäessä valvonta-alueen sisällä puhtaammalle alueelle. Loviisan voimalaitoksessa tällainen alue on laboratorio, jossa tutkitaan voimalaitoksen eri prosesseista otettuja näytteitä. Laboratoriossa ylläpidetään korkeampaa puhtaustasoa. Tämän vuoksi laboratorioalueella työskenneltäessä käytetään joko erillisiä laboratoriokenkiä tai puhtaita kenkäsuojia normaalien valvonta-alueen turvakenkien päällä.

PESULAN TOIMINTA

Valvonta-alueella käytetyt likaantuneet suojavarusteet kerätään pyykkipusseihin, jotka on sijoitettu tarkkailualueelle, valvonta-alueen kenkäräjalalle ja kaikille lisäkenkäräjoille. Haalarit, alusvaatteet, sukat, pyyhkeet ja kenkäsuojat toimitetaan pesulaan mittausta ja puhdistusta varten.

Ennen pesua kaikki kenkäsuojat ja kontaminoituneet haalarit mitataan käsin aktiivisuustason määrittämiseksi. Tietyt rajat ylittävät vaatteet määritellään jätteeksi ja käsitellään muun radioaktiivisen jätteen kanssa. Rajat ylittävät haalarit ja kenkäsuojat päätyvät pesuun. Näin toimimalla varmistetaan, että jätevesien aktiivisuudet pysyvät sallituissa rajoissa.

Pesulassa on useita pesukoneita, jotka on omistettu tietyntyyppiselle pyykille vaatetyypin ja aktiivisuustason mukaan. Esimerkiksi kaikkein kontaminoituneimmilla alueilla käytettäviä kenkäsuojia saapäst vain yhdessä pesukoneessa muiden koneiden kontaminoitumisen estämiseksi.

Kaikki pestyt vaatteet kuivataan pesun jälkeen kuivausrummuissa. Kuivauksen jälkeen pyykki mitataan erillisellä pyykkinmonitorilla dekontaminoinnin onnistumisen varmistamiseksi. Tämän jälkeen vaat-



TkT Silja Häkkinen
Expert, Radiation Safety
Fortum Power and Heat Oy
silja.hakkinen@fortum.com

teet tarkistetaan mahdollisten rikkinaisten vetoketjujen ja muiden vikojen varalle. Pesulassa on pieni korjausnurkkaus, jossa voidaan suorittaa pienimuotoista korjausompelua kuten vetoketjujen vaihtoa. Tarkistuksen tai korjauksen jälkeen puhdas pyykki viikataan ja varastoidaan uudelleen käyttöä varten.

Valvonta-alueella käytetyt haalarit eivät päädy pesuun joka käytön jälkeen, jos henkilömonitorissa valvonta-alueen ja tarkkailualueen rajalla ei havaita kontaminaatiota. Tällä menettelyllä ja luokittelemalla hyvin kontaminoituneet varusteet suoraan jätteeksi pyykkimäärät pysyvät kohtuullisina.

Samanlainen menettely ei kuitenkaan toimi kaikissa olosuhteissa, kuten kuumemissa maissa, joissa kontaminaatiosta vapaat haalarit voidaan joutua pesemään joka käytön jälkeen pelkästään hygieniasyistä.

PYYKIN KONTAMINAATIO-MITTAUS

Pyykin kontaminaatiomittaus on oleellinen toimenpide. Sillä varmistetaan, että käyttöön ei päädy kontaminoituneita varusteita. Loviisan voimalaitoksella on tätä toimenpi-

dettä varten hankittu erityinen pyykkimonitori. Kokonsa ja käytettävyytensä puolesta pyykkimonitorin käyttö on huomattavasti tehokkaampaa kuin käsin mittaus.

Pyykkimonitori koostuu liukuhihnasta, jonka alle on sijoitettu laitteeseen integroitu mittaustietokone, detektorikaappi ja muita rakenteita. Liukuhihnan yläpuolella poikittain sijaitsee muun muassa ylempi detektorikaappi ja pyykkimonitorin näyttö. Detektorit ovat kaasutäytteisiä beetailmaisimia.

MUUT JÄRJESTELMÄT

Valtaosa pesulaan päätyvästä pyykistä ei ole kontaminoitunutta, mikä pitää pesuvedet pääosin vapaana aktiivisuudesta. Pesulan pesuvedet ohjataan kuitenkin valvonta-alueen vesienkäsittelyjärjestelmään, eivätkä ne sekoitu valvomattoman alueen jätevesiin.

Vastaavasti poistoilma ohjautuu valvonta-alueen ilmanvaihtojärjestelmään. Ilmanvaihto on suunniteltu siten, että ilma kulkee puhtaammalta alueelta kontaminoituneemmalle alueelle. Kuivausrummut määrittävät paljolti tarvittavan ilmastoinnin määrän, sillä ne tuottavat huomattavan paljon kosteutta ja pölyä. Kuivureiden poistoilma onkin ohjattu putkia pitkin suoraan laitoksen poistoilmajärjestelmään. 🌀



Pyykkimonitori kuljettaa mitattavat vaatekappaleet liukuhihnalla detektorin ohi ja suorittaa mittauksen automaattisesti. Pyykkimonitorin käyttö tehostaa puhtaaksi mittausta huomattavasti verrattuna käsimittariin.



Kuivausrumpujen poistoilma on ohjattu suoraan valvonta-alueen ilmanvaihtojärjestelmään.

Vaatteiden pieniä korjaustoimenpiteitä on mahdollista suorittaa pesulan korjausnurkkauksessa.



TIMO SAARIO JA YDINVOIMALAITOSTEN MATERIAALIEN TUTKIMUS

Tekniikan tohtori Timo Saario on tutkinut ydinvoimalaitosten materiaaleja ja niiden korroosionkestävyyttä VTT:llä yli 40 vuoden ajan. Siinä ajassa maailma on muuttunut, mutta materiaalien haasteet säilyneet ja parempien materiaalien etsintä jatkunut. ATS Ydintekniikka haastatteli Timoa eläkepäivien kynnyksellä.



Timo Saario VTT:n Ydinturvallisuustalon ala-aulan näyttelyvitriinien ääressä (kuva: Jarmo Ala-Heikkilä).

Teksti: Jarmo Ala-Heikkilä

Haastattelupaikkana harmaana marmorikuun päivänä oli VTT:n neuvotteluhuone osoitteessa Kemistintie 3. Pihalla pyörineet Niemen muuttoautotkin paljastivat, että VTT on parhaillaan tyhjentämässä kyseistä rakennusta sekä sen alla olevassa väestönsuojassa olevaa tutkimushallia.

Timon mukaan KT3:n tilalle on suunniteltu rakennettavan asuinkerrostaloja. Kemistintien ihmiset ja laitteet siirtyvät muihin Otaniemen VTT-taloihin eli Future Hubiin ja Ydinturvallisuustaloon, missä tut-



Tkt Jarmo Ala-Heikkilä
asiantuntija,
ATS Ydintekniikan päätoimittaja
Aalto-yliopisto
paatoimittaja@ats-fns.fi

kimustoiminta jatkuu kutakuinkin entisessä laajuudessaan.

METALLIPINTOJEN KÄYTÖS PROSESSIOLOSUHITEISSA

Timo Saaron peruskoulutus on diplomi-insinööri metalliopin ja metallien muokkauksen ja muovauksen alalta (1981). VTT:llä tehdyn tutkimustyön pohjalta hän väitteli TKK:ssa tekniikan tohtoriksi vuonna 1995. Väitöstyössään hän kehitti uutta tutkimusmenetelmää, jolla voidaan mitata metallien pintakerroksen suojaavuutta eli korroosionkestoa prosessiolosuhteissa. Laitteistosta kehitettiin myös kaupallinen tuote yhdessä Cormet Oy:n kanssa.

Työn ohessa Timo suoritti myös kognitiivisen psykologian alaan kuuluvan Neuro-Linguistic Programming (NLP) Trainer-tutkinnon vuonna 2004. Siitä on ollut hyötyä erityisesti työssä jaksamisessa, neuvotteluissa ja yhteistyössä asiakkaiden ja työtoverien kanssa. Tämä opiskelu johdatti myös kiinnostukseen tavoista, joilla voi lisätä henkilökohtaista luovuutta.

VTT:n silloisessa Metallilaboratoriossa oli vuonna 1981 avoin paikka, johon Timo haki ja tuli valituksi. Hän ei niinkään hakeutunut juuri ydinvoimalaitosmateriaalitutkimuksen pariin, mutta ei myöskään vierastanut ydinvoimaa.

Timon työ liittyi alusta saakka vahvasti ydinvoimalaitosten materiaalikysymyksiin, erityisesti metallien haurasmurtumiseen. Yhdessä akademia- ja tutkimusprofessori Kim Wallinin kanssa hän kehitti haurasmurtumisen kokeellista ja laskennallista ennakkointia. Tästä poiki lopulta niin sanottu "Master Curve"-menetelmä, joka otettiin kansainvälisen alan standardin pohjaksi (ASTM E 1921).

Uran seuraava kohde oli korroosioväsyminen: siinä tutkitaan kuinka käyttöympäristö nopeuttaa rakenteisiin syntyvien väsymissäröjen ydintymistä ja kasvua. Vuosina 1989-1991 Timo kävi VTT:n Tampereen yksikössä käynnistämässä VTT:n Metallifysiikan laboratorion toiminnan (muun muassa räjäytyshitsaus, uusien metalliseosten valmistusta mekaanisella seostuksella ja synteettisten tiemanttien valmistusta).

Otaniemeen paluun jälkeen Timo pääsi opettelemaan korroosion ja sähkökemian menetelmiä, joista sitten syntyi väitöstyö. Seuraavana tutkimusaiheena oli vuorossa voimalaitosten vesikemia, joka vaikuttaa keskeisesti erilaisissa metallisten komponenttien vaurioitumismekanismeissa.

Vuodesta 1996 alkaen Timo on tutkinut myös ydinpolttoaineen loppusijoitukseen liittyviä korroosio-ongelmia, erityisesti kuparin osalta. Ruotsissa havaittu korroo-



Pilottilaitteistoja voimalaitosvesikemian tuottamiseen VTT:n tutkimushallissa Espoossa (kuva: VTT).

sioilmiö todettiin riskittömäksi VTT:n ja Aalto-yliopiston yhteistutkimuksissa, osana laajempaa kansainvälistä tutkimusponnistusta.

Yksi VTT:n vahvuus isona toimijana on ollut mahdollisuus opetella uusia työnsäilytöjä vaihtamatta työnantajaa. Viimeisen kymmenen vuoden aikana Timon työnkuvaan on tullut vahvasti ”vihreään” energia-tekniikkaan liittyvät korroosio-ongelmat. Esimerkiksi kun kehitetään prosesseja uusiutuvien polttoaineiden valmistukseen, komponenttien materiaalien korroosionkestävyys on usein keskeinen ratkaistava haaste.

ASENTEIDEN MUUTOKSIA

1980-luvun alussa ydinvoima oli varsin suosittua myös tavallisen kansan keskuudessa. Loviisan ja Olkiluodon laitokset oli juuri otettu käyttöön, ja vire oli hyvin positiivinen. Ydinvoimalaitosonnettomuudet Tšernobylistä ja Fukushimaa sekä niitä seuranneet kansainväliset energiapolitiikan muutokset muuttivat ilmapiiriä voimakkaasti, jopa niin, että 1990-luvulla VTT:llä sanaa ”ydinvoima” vältettiin organisaation yksiköiden nimissä.

Myös ympäristöjärjestöt muokkasivat yleistä ilmapiiriä vahvasti ydinvoimalle kielteiseen suuntaan. Kun läheiset ja tuttavat kysivät mitä oikein teen työkseni, kehitin vastauksen ”me pidetään sähköt päällä Suomessa”, mihin ei kenelläkään liittynyt negatiivisia assosiaatioita.

Viimeisen kymmenen vuoden aikana ydinvoima-ala on kokenut ”renessanssin”, eli tullut taas hyväksyttäväksi osaksi yhteiskuntien energiapalettia CO₂-päästöjen rajaamiseksi. Ydinvoiman uuteen tulemiseen vaikuttaa Timon mielestä myös uusiutuvien energiantuotantomuotojen kausittaisuus, joka näkyy kuluttajalle pörssisähkön hinnan suurina vaihteluina.

Uusiutuvien osalta keskeinen kysymys on energian varastointi, jossa vihreä vety nousee etualalle. Sähköllä voidaan tuottaa vetyä hajottamalla vettä, vety voidaan varastoida ja tarpeen tullessa polttaa takaisin sähköksi polttokennoissa. Näin saadaan tasattua sähkön tuotannon ja kulutuksen eriaikaisuutta.

Tähän on toki monia muitakin tapoja, esimerkiksi Vantaan Energian parhaillaan rakentama miljoonan kuutiometrin vesisäiliö kallioperässä. Vastaavaa EU:n laajuista hanketta toteutetaan parhaillaan sekä lämmön että kylmän varastointiin. Molemmissa näissä hankkeissa VTT on mukana, ja tuossa Vantaan Energian hankkeessa Timo oli mukana selvittämässä lämmönvaihtimien ja muiden komponenttien korroosionkestävyyttä.

TUTKIMUSMENETELMÄT KEHITTYVÄT

Tutkimusmenetelmien jatkuva kehitys on VTT:llä osa normaalia toimintaa. Tieteellisen tutkimuksen periaatteiden mukaisesti uuden tutkimusmenetelmän hyväksyminen ja yleinen käyttöönotto vaatii monen eri tutkimusorganisaation tarkistuksen ja vie Timon kokemuksen mukaan helposti vuosikymmenen.

Esimerkiksi sopii aiemmin mainittu ”Master Curve”-menetelmä haurasumurtumisen osalta: ensimmäisistä selvityksistä kansainväliseen standardiin kului aikaa noin 12 vuotta. Timo on uransa aikana kehittänyt VTT:n tutkimusryhmässä useita mittausten menetelmiä ja sensoreita erityisesti korkeassa lämpötilassa ja paineessa tapahtuviin mittauksiin, mistä suurin osa on kaupallistettu Cormet Oy:n toimesta.

Julkisrahoitteisten SAFIR- ja KYT-tutkimushankkeiden ohella merkittävä osa Timon tutkimussaavutuksista liittyy asiakkaiden luottamuksellisiin toimeksiantoihin,

joten niitä ei voi tässä avata. Merkittävänä hänelle on jäänyt mieleen hetki, kun väitöskirjan valmistuttua ja siinä kehitetyn mittausten menetelmän myötä hän koki oikeasti tietävänsä jostain enemmän kuin kukaan muu. Huijarisyndrooman mukaisesti vaikka esiintyy asiantuntijana, itse tietää sisimmässään kuinka vähän asiasta itse asiassa tietääkään. Timoa on myöhemmin auttanut lausahdus ”sokeiden joukossa yksilöllinen on kuningas”.

SIETOKYKYÄ, MAALAIJÄRKEÄ JA PUUTARHANHOITOA

Uran alussa Timon oli vaikeinta oppia sietämään epävarmuutta. VTT:n yksi rooli on ottaa riskejä, joita yritykset eivät halua ottaa. Tutkimuksessa ei voi olla alussa lainkaan varma, onnistuuko työ ja saadaanko esitettyihin kysymyksiin vastaus. Jos ei opi sietämään epävarmuutta, ei todennäköisesti viihdy tutkimustyössä pitkään.

Toinen vaikeasti opittava asia on, että tutkimustyössäkin yksi tärkeimpiä asioita on maalaisjärki. On helppo piiloutua tieteellisen puhutavan taakse. Tämän voisi kiteyttää näin: ”olen oppinut asian kunnolla vasta, kun pystyn selittämään sen puolisolille niin, että hän ymmärtää sen”.

Timo mainitsee olevansa eniten ylpeä siitä, miten hän on ajan myötä oppinut arvostamaan työtovereiden osaamista ja ammattitaitoa.

Tutkimuspuolella Timo on iloinen siitä, että hän on omalla panoksellaan saanut olla mukana ydinjätteen loppusijoitustutkimuksessa, jota ruotsalaiset kollegat ovat kutsuneet ”historian suurimmaksi ympäristönsuojeluhankkeeksi”. Kun loppusijoitus lähestyy käynnistysvaihettaan sekä Suomessa että Ruotsissa, sen mukana poistuu yksi keskeisistä ydinvoiman käytön vastustajien argumenteista.

Timo on viime vuosina toiminut oman osaamisalueensa mentorina useammalle nuoremmalle VTT:n tutkijalle. Hän on varautunut jakamaan osaamistaan myös eläkkeelle jäämisen jälkeen. Hän kuitenkin tiedostaa, että tutkimustyön haasteiden kehittyessä uusiin suuntiin ja oman osaamisen jäädessä paikalleen mahdolliset konsultointipyynnöt varmasti hiipuvat parin seuraavan vuoden aikana. Timon nykyinen motto on: ”vain puutarhanhoito on tärkeää, eikä sekään ole niin kovin tärkeää”. ☘

METEORIITTIIEN HASARDIKÄYRÄ

Tapani Raunio

Sekä Yhdysvaltain ydinturvallisuusviranomainen NRC että Länsi-Euroopan viranomaisten yhteenliittymän WENRAn alainen RHWG edellyttävät, että uusien ydinlaitosten ulkoisena uhkana arvioidaan myös meteoriittien aiheuttamat uhat. Tässä kirjoituksessa arvioidaan kahdella ääriarvoteorian menetelmällä maahan osuvan meteoriitin suuruuden ja harvinaisuuden suhdetta. Tavoitteena on arvioida myös ääriarvoteorian antamien arvioiden tarkkuutta, kun aikasarjasta ekstrapoloidaan hyvin harvinaisten tapahtumien ääriarvoa.

Both the United States Nuclear Regulatory Commission (NRC) and the WENRA RHWG require that threats posed by meteorites are considered as external hazards for new nuclear power plants. This paper evaluates, using two methods based on extreme value theory, the relationship between the size and rarity of meteorites impacting the Earth. The aim is also to assess the accuracy of estimates provided by extreme value theory when extrapolating the extremes of exceedingly rare events from a time series.



Kuva 1. Asteroidi 2023 CX₁ (tunnetaan myös nimellä Sar2667) osuu ilmakehään Pohjois-Ranskan yläpuolella. Kuva on otettu 30 sekunnin valotusajalla (kuva: Käyttäjä Wokege, Wikimedia Commons, kuvan lisenssi Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International, muokattu (kirkastettu).

Ydinlaitokset tulee suunnitella kes-tämään luonnon aiheuttamat ulkoiset uhat laitospaikalla. Tarkka listaus huomioitavista tapahtumista vaihtelee maittain. NRC:n ja länsieurooppalaisten ydinturvallisuusviranomaisten WENRA-yhdistyksen RH-työryhmän (Reactor Harmonization Working Group) näkemyksen mukaan myös meteoriittien uhat pitää arvioida. Suomen YVL-ohjeistossa ei mainita meteoriitteja.

Suomalaisessa YVL-ohjeistossa edellytetään, että uuden ydinlaitoksen yleisenä suunnitteluperustana on käytettävä sellaisten ilmiöiden voimakkuuksia, joiden arvioidaan esiintyvän useammin kuin kerran sadassatuhannessa vuodessa. Huomioitavia ilmiöitä ovat esimerkiksi meriveden korkea lämpötila, merenpinnan korkeus tai tuulennopeus. Tällaisten ilmiöiden suuruuden ennustamiseen liittyy epävarmuuksia, ja YVL-ohje B.7 ohjeistaa laatimaan hasardikäyrän, mikäli ilmiön mittauksista on aikasarjoja. Hasardikäyrä esittää ilmiötä kuvaavan suureen arvon ylitymistäajuutta. Hasardikäyrään usein liittyvien epävarmuuksien takia YVL suosittaa mediaanienustuksen käyttöä.

Seuraavaksi mallinamme maapalloon osuvien meteoriittien hasardikäyrää, ja yritämme arvioida keskimäärin kerran sadassatuhannessa vuodessa tai useammin osuvien kappaleiden suurinta kokoa. Työkaluina käytämme YVL-ohjeen B.7 opastuksen mukaisesti ääriarvoteorian menetelmiä.

Bolidit, meteoriitit ja kraatterit

Meteoroidit ovat kiinteitä kappaleita, joiden läpimitta on välillä 30 μm – 1 m. Tätä suuremmat kappaleet ovat asteroideja tai komeettoja. Riittävän ison meteoroidin (tai isomman kappaleen) törmätessä ilmakehään syntyy tulipallo tai bolidi, joka on kirkkautensa vuoksi havaittavissa satelliiteista ja maanpäällä.

Tulipallon ja bolidin ero on, että jälkimmäinen on tulipallo, jolla on kirkas loppuvälähdys. Termejä käytetään välillä myös toistensa synonyymeinä. Osa tulipallon (tai bolidin) synnyttäneestä kappaleesta voi päästä maahan saakka. Maahan päässyttä osaa kutsutaan meteoriitiksi. Kuvassa 1 on helmikuussa 2023 Pohjois-Ranskaan syöksynyt asteroidi, jossa nähdään myös pieni loppuvälähdys. Kyseinen asteroidi oli keskimääräiseltä halkaisijaltaan metrin luokkaa.

Yhdysvaltain ilmailu- ja avaruushallintovirasto NASA on havainnoinut laitteillaan tulipalloja vuodesta 1988 lähtien ja tähän mennessä on havaittu hieman päälle 1 000 tulipalloa tai bolidia. Näiden tulipallojen

kirkkauden perusteella on arvioitu myös tulipallon tai bolidin kokonaisenergiaa, ja havainnot ovat saatavilla NASAn ylläpitä-mältä sivustolta [1].

Maan päältä löytyy suuria meteoriittien aiheuttamia kraattereita. Earth Impact Database on nykyään Dominionin obser-vatorion ylläpitämä lista maanpäällisistä suurista kraattereista [2]. Lista sisältää 194 kraatteria, joista vanhin on syntynyt arviolta 3,5 miljardia vuotta sitten. Vanhoissa meteoriittien iskeytymissä ei ole yllättävää, että niiden ajoittamiseen liittyy suuria epä-varmuuksia.

Otamme tarkasteluun mukaan vain kraatterit, jotka täyttävät seuraavat ehdot: kraatterin on arvioitu voineen syntyä vii-meisen 100 miljoonan vuoden aikana ja toisekseen kraatterin halkaisija on vähin-tään 10 km. Rajausta tehdään, koska kaik-kia maan päällä olevia halkaisijaltaan alle 10 km tai yli 100 miljoonaa vuotta vanhoja kraattereita tuskin tunnetaan.

Käytämme tulosten arvioinnissa tie-tolähteenä Euroopan avaruusjärjestön ESAn asteroidien riskilistausta, joka on listaus kaikista havaituista aurinkokunnan kappaleista, joilla arvioidaan olevan nol-lastä poikkeava todennäköisyys osua tu-levaisuudessa maahan. ESA tuntee noin 1800 tällaista kappaletta, ja se on arvioi-nut näille osumisajankohdan, törmäyse-nergian ja törmäystodennäköisyyden [3]. Todennäköisyydet ovat pieniä, sillä 95 % todennäköisyydellä yksikään näistä ei osu maahan.

Tulosten vertailussa hyödynnämme myös kirjallisuusarviota eri suuruisten tör-mäysten toistuvuusvälistä, joka on laadi-tu osana yksittäisten asteroidien riskimer-kityksen arviointia varten. Yhtälö on

$$f_B = \frac{3}{100} \cdot E^{-4/5} \cdot yr^{-1}$$

missä E on törmäyksen energia megaton-neissa ja f_B on toistuvuusvälin käänteisarvo, jolle esimerkiksi arvo $1/100$ vastaa keski-määrin sadan vuoden välein toistuvaa tör-mäystä [4].

Hasardikäyrän mallintaminen

Pohditaan hieman lähtöoletuksia ja hasar-dikäyrän muodostusta. Haluamme saa-da arvion suurten meteoriittien osumi-sesta maahan ja niiden harvinaisuudesta. Lähtöoletuksena arvioimme, että pienten meteoroidien ja suurempien kappaleiden osumiset maapallon ilmakehään ovat toi-sistaan riippumattomia ja niiden koot ovat satunnaismuuttujia tuntemattomasta ja-kaumasta.

Mitä suurempi ilmakehään osuva me-teoroidi (tai muu kappale) on, sitä harvinaisempi se on. Lisäksi mitä suurempi kap-pale osuu ilmakehään, sitä suurempi sen vaikutus on. Suunnitelmamme on sovittaa sopiva käyrä tulipallodataamme ja ekstrapoloida siitä erittäin suurten kappaleiden osumisen harvinaisuudet.

Ääriarvoteoria tarjoaa meille kak-si helppoa mallinnustapaa käyräsovit-teellemme: yleistetyn ääriarvojakauman (Generalized Extreme Value Distribution, GEV) ja yleistetyn Pareto-jakauman (Generalized Pareto Distribution, GPD) ylitemenetelmällä (Peaks Over Threshold). Molempia menetelmiä käytetään harvi-naisten ilmiöiden suuruuden arvioimiseen.

Yleistetty ääriarvojakauma GEV

GEV-menetelmää kutsutaan myös blokki-maksimimenetelmäksi. Menetelmässä ai-kasarja mittaussarvoista jaetaan ajallisesti yhtä suuriin jaksoihin, ja jokaisesta jaksosta hyödynnetään jaksosta aikana mitattu mak-simiarvo. Tämän jälkeen GEV-jakauman tiheysfunktio sovitetaan mitattuihin arvoihin.

Sovitettu käyrä antaa yhden jaksos-ajan aikana esiintyvän ääriarvon todennäköi-syysjakaman. Ääriarvoteoriassa on todis-tettu, että pitkällä aikavälillä tietyt rajatut oletukset täyttävät tuntemattomat tiheys-funktiot lähestyvät asympotoottisesti GEV-jakauman tiheysfunktia.

GEV-jakauman sovitus tehdään täs-sä artikkelissa suurimman uskottavuuden menetelmällä (maximum likelihood estima-te), jossa parametrien arvoiksi valitaan ne, jotka todennäköisimmin olisivat synnyttä-neet mitatut ääriarvot.

GEV-menetelmän heikkous on, että so-vitettu jakauma voi olla hyvin herkkä yksit-äisille mittaustuloksille. Tässäkin tapauk-sessa mittaussarjaan kuuluu yksi suuri mittaustulos, joka vaikuttaa sovituksen oleellisesti.

Yleistetty Pareto-jakauma (GPD)

GEV-menetelmän heikkous on, että mita-tusta aikasarjasta hyödynnetään kustakin jaksosta vain maksimiarvo. Mikäli jaksos-pituus on suuri mittaussarjan pituuteen nähden, saattaa jäljelle jäädä vain muuta-ma arvo. Toinen lähestymistapa on poimia mittaussarjasta kaikki ääriarvot, ja mallin-taa niiden jakaumaa. Tämä tapahtuu so-vittamalla havaintoihin yleistetty Pareto-jakauma ylitemenetelmällä.

Menetelmässä valitaan kynnystaso, jonka jälkeen hyödynnetään vain kyn-nystason ylittäneet arvot. Näistä arvois-ta vähennetään kynnystaso, ja saatua

ylitteiden jakaumaa mallinnetaan GP-jakaumalla. GP-jakauman sovitus ylit-teisiin tehdään myös suurimman uskot-tavuuden menetelmällä. Saatua jakauma kertoo kynnystason ylittävän arvon ylit-teen jakauman.

On hyvä huomata, että GEV- ja GPD-käyrä mallintavat eri asioita. GEV-jakauma kertoo yhden jaksos maksimituloksen ja-kauman. GP-jakama taas kertoo, että kun on mitattu kynnystason ylittävä mittaustulos, mikä on kyseisen ylitteen jakauma.

GPD-menetelmän haasteena on, että valittu kynnystaso vaikuttaa saatuaan sovit-teeseen, mikä nähdään myös tämän artik-kelin tuloksissa.

Lähtötietojen esikäsittely

Muodostamme hasardikäyrän tulipalloda-tan perusteella GEV- ja GPD-menetelmillä. Tulipallodatasta mallinnettavaksi arvok-si otetaan törmäyksen kokonaisenergia. Käytämme sovituksen tekemiseen NASAn tulipallodatasta havainnot vuosilta 2000-2024, joita on 881 kpl. Kokonaisenergia on arvioitu tulipallon tai bolidin kirkkauden pe-rusteella.

Havaintojen kokonaisenergia on 90 % havainnoissa alle 1,1 kt (kilotonnia TNT-ekvivalenttia). Toiseksi suurimman ha-vainnon kokonaisenergia on 49 kt ja suu-rimman 440 kt. Tämä suurin havainto on Tšeljabin skin meteori vuodelta 2013. Sen aiheuttaneen asteroidin on arvioitu olleen halkaisijaltaan 15-17 m.

Isoista kraattereista tiedämme nii-den iän karkeasti sekä kraatterien halkai-sijan kilometreissä. Kuten aiemmin mai-nittiin, otamme havainnoista mukaan alle 100 miljoonaa vuotta vanhat ja yli 10 km halkaisijaltaan olevat kraatterit. Siltikin on mahdollista, että kaikkia kyseisiä yli 10 km kraattereita ei tunneta. Ja toisaalta tun-netut osumakohdat ovat kaikki vähintään osittain maan päällä.

Muunnamme maanpäälliset kraatteri-en halkaisijat törmäyksen kokonaisener-giaksi kilotonnia TNT-ekvivalenttina kaa-valla

$$E_{\text{kraatteri}} = 9,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{D^{2,59}}{4,184}$$

missä D on kraatterin halkaisija kilometri-nä [5]. Muunnos on luonnollisesti approk-simaatio.

Haluamme esittää tulipallo- ja kraat-teridatan muodossa, jossa y-akselina on ääriarvo ja x-akselina on ääriarvon ylittä-misen toistuvuusväli. Havainnot saadaan haluttuun muotoon muutamalla muutok-sella. Ensiksi järjestämme mittaussarjan

kasvavaan järjestykseen. Tämän jälkeen laskemme toistuvuusvälin kaavalla

$$x_{\text{return}} = \frac{N + 1}{j}$$

missä N on blokkimenetelmässä mittaus-sarjan pituus (ja vuosien määrä) ja j arvon suuruusjärjestys. Mittausarjan suurimman arvon j on 1, toiseksi suurimman 2, ja niin edespäin. Esimerkiksi 10 vuoden aikasarjassa tämä tarkoittaisi, että suurimman arvon katsottaisiin esiintyvän kerran 11 vuodessa, toiseksi suurimman kerran 5,5 vuodessa ja niin edespäin.

Nyt voimme verrata noudattaako tunnettujen kraattereiden jakauma samanlaista jakaumaa kuin GEV- ja GPD-menetelmällä saadut jakaumat.

ESAn maahan mahdollisesti törmäävien asteroidien listan kohdalla teemme muutaman approksimaation. Otamme tällä hetkellä tiedossa olevat potentiaaliset törmäystodennäköisyydet seuraavan 50 vuoden aikana ja muutamme tulevaisuudessa olevan törmäyksen todennäköisyysarvion vuosittaiseksi todennäköisyydeksi, vaikka kyseessä onkin yksittäinen törmäys. Muunnos tehdään, jotta törmäystodennäköisyydet olisivat toisiinsa verrattavia.

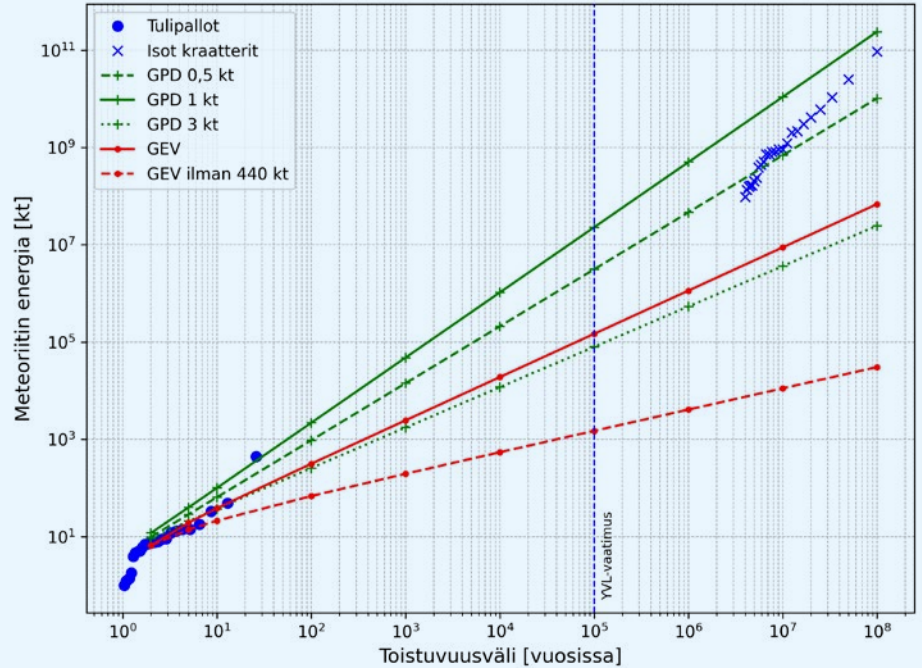
Herkkyystarkastelu Bootstrap-algoritmillä ja ilman

Teemme tuloksille muutaman yksinkertaisen herkkyystarkastelun. GEV-menetelmän kohdalla teemme sovituksen sekä sisältäen 440 kt tulipallon että ilman sitä. GPD-menetelmän kohdalla teemme muutaman sovituksen eri kynnystasoilla.

Haluamme arvioida myös luottamusväliä GEV- ja GPD-menetelmillä saataville tuloksille, mikä on tärkeää etenkin, kun aiomme ekstrapoloida huomattavan kauas havaintosarjastamme. Tässä kohtaa käytämme GEV- ja GPD-tuloksille tilastotieteen Bootstrap-algoritmia, jolla saadaan arvio tunnusluvun tarkkuudelle. Muitakin menetelmiä tarkkuuden arviointiin olisi, mutta Bootstrap on yksinkertainen toteuttaa.

Algoritmi on pohjimmiltaan hyvin yksinkertainen ja toimii GEV-menetelmän kohdalla seuraavasti. Merkitään havaintojen lukumäärää N :llä, missä havainnot ovat vuosimaksimeja. Otamme havaintoaineistosta satunnaisesti N -kappaleen Bootstrap-otoksen siten, että sama yksittäinen havainto voi olla uudessa otoksesamme monta kertaa.

Tässä tapauksessa otamme 1000 erilaista Bootstrap-otosta ja sovitamme jokaiselle GEV-käyrän. Tämän jälkeen laskemme jokaiselle toistuvuusvälille jokaisella



Kuva 2. GEV ja GPD (POT) -menetelmillä tulipallodatan perusteella arvioidut meteoriittien törmäysenergian ylitykset eri toistuvuusväleillä. Sinisellä katkoviivalla on esitetty YVL-ohjeen B.7 vaatimus 503b, jonka mukaisesti laitoksen suunnitteluperustassa tulee huomioida ilmiöt, joiden ylittymisen todennäköisyys vuositasona on suurempi kuin 10⁻⁵ mediaaniluottamustasolla.

sovituksella törmäyksen kokonaisenergian ja käytämme siitä luottamusvälinä 5 % ja 95 % persenttiilejä.

GPD-menetelmän Bootstrapissa toimitaan lähes samoin kuin GEV-menetelmässä. Bootstrap-otokset otetaan alkuperäisen datan 0,5 kt kynnystason ylitteistä arvoista.

Tulokset GEV- ja GPD-menetelmillä

Teemme GEV- ja GPD-sovitteet Pythonin scipy-kirjaston avulla. Ennen tulosten piirtämistä samaan kuvaajaan, GPD-sovitteet muutettiin yhteismitalliseksi GEV-sovitteiden kanssa. Muutos tarvitaan, koska haluamme kuvaajan kertovan vuoden aikana maahan mahdollisesti osuvan suurimman meteoriitin toistuvuusvälin.

Kuvassa 2 näkyy maahan osuvien meteoriittien törmäysenergia ja toistuvuusväli, jolla törmäysenergia voi ylittyä. GEV- ja GPD-sovitteiden viivat on ekstrapoloitu aina 100 miljoonaan vuoteen saakka. GEV-sovitteesta on tehty kaksi versiota, toinen ilman suurinta 440 kt meteoriittia ja toinen kaikella datalla. GPD-sovitteet on laskettu 0,5 kt, 1 kt ja 3 kt kynnystasoilla.

Vastausten hajonta toistuvuusvälillä kerran sadassatuhannessa vuodessa on 10 000-kertainen, eli järjettömän suuri.

Toisaalta kaikista pienimmän arvon antavassa GEV-sovitteesta oli jätetty pois mitausdatan suurin yksittäinen arvo. GPD-menetelmän kynnystaso vaikuttaa sekin yli satakertaisesti tulokseen.

Lievästi positiivista on tuloksissa, että sovitteiden välille osuvat maanpäälliset isot kraatterit. Toisaalta ennustusväli on niin suuri, ettei tämä ole kovin menestyksenkäs tulos.

Kuvassa 3 on Bootstrapilla lasketut 5 % ja 95 % luottamusvälit GPD- ja GEV-sovitteille sekä normaali GEV- ja GPD-sovite. GEV-menetelmän luottamusväli herättää lähinnä epäuskoista naurua. 5 ja 95 % persenttiilien ero on noin 8 dekadia. GPD-menetelmän luottamusväli on hie-man rajatumpi, mutta siltikin ero 5 ja 95 % persenttiilin välillä on yli satakertainen.

Uskottavimman tuntuinen ennuste saadaan, jos tulipallohavainnoista vedetään suora viiva isojen kraattereiden arvioituun toistuvuuksiin. Tämä vastaa GPD-sovitetta 0,5 kt kynnystasolla, ja tällöin suunnitteluperustaksi tulisi törmäys 3 Gt kokonaisenergialla.

Suurin ihmisen tekemä räjähdys on Tsar Bomba -ydinräjähdys, joka oli arviolta 50 Mt TNT-ekvivalenttia, eli 3 Gt on valtava törmäysenergia. Toisaalta osuma saat-taisi olla laitospaikkaan verrattuna vastakaisella pallonpuoliskolla.

YVL-ohjeen B.7 perustelumuiostiossa todetaan, että DEC C -luokan (DEC = design extension conditions) ulkoisten uhkien kohdalla voidaan käyttää alarajana esiintymistajuutta 10^{-7} /vuosi. Tällöin GPD-sovitteemme perusteella puhuttaisiin noin 1 000 Gt törmäysenergiasta.

Tulosten vertaaminen ESan dataan ja kirjallisuuteen

Kuvassa 4 on verrattu 0,5 kt kynnystasolla tehtyä GPD-sovitetta ja ESan havaitsevien asteroidien törmäystodennäköisyyttä vuositason (ja toistuvuusväliksi) muutettuna. ESan datasta on kuvaan merkitty kapaleet, jotka saattaisivat törmätä yli 1 kt törmäysenergialla maahan seuraavan 50 vuoden aikana. Lisäksi kuvaan on piirretty kirjallisuudessa arvioitu törmäysenergian ja toistuvuusvälin suhde.

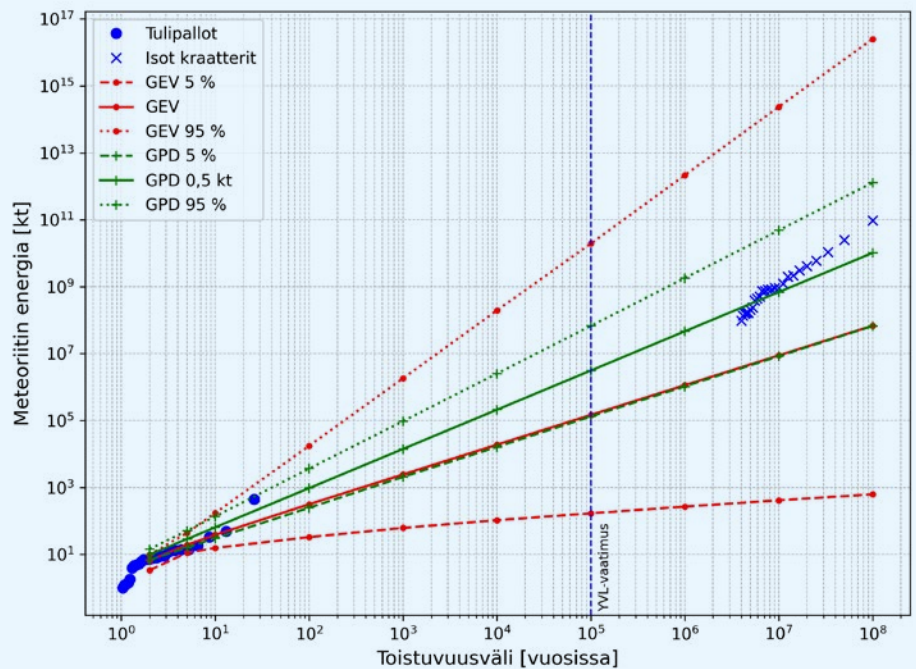
Tunnnettuihin riskilistalla oleviin asteroideihin nähden tuloksemme 3 Gt törmäysenergiasta vaikuttaa olevan satakertaisesti ylimitoitettu, ja parempi arvio olisi noin 10 Mt. Toisaalta yksikin uusi riskilistalle päätyvä asteroidihavainto voisi muuttaa tuloksen.

Kirjallisuudessa esitetty sovite antaa kerran sadassatuhannessa vuodessa maahan osuvan asteroidin törmäysenergiaksi 22 Gt. Siihen nähden GPD-sovitetta 0,5 kt kynnystasolla voidaan pitää melko onnistuneena, joskin valitsimme sovitteemme suurten kraatterien avulla. Lisäksi on hyvä muistaa, että kirjallisuudessa esitettyyn soviteeseen liittyy epävarmuuksia, ja sovitteen päätarkoitus on arvioida yksittäisten asteroidien vaarallisuutta.

Tulosten pohdinta

Tulokset havainnollistavat hyvin ääriarvoteorian soveltamiseen liittyviä haasteita. Tarkastellussa tapauksessa GEV- ja GPD-menetelmien sokea soveltaminen johtaa hyvin epävarmoihin tuloksiin, joiden käyttö laitoksen suunnitteluperusteen määrittämisessä on kyseenalaista.

Ekstrapolaatiohaasteita ei voida pitää yllättävinä, sillä yritimme neljännesvuosisadan perusteella ekstrapoloida aina saatantuhanteen vuoteen ja pidemmälle.



Kuva 3. Bootstrap-menetelmällä tehdyt herkkyytstarkastelut ja näiden 5 ja 95 % persenttiilien luottamusvälit.

Tältä osin nykyisen YVL-ohjeiston vaatimuksia laitoksen suunnitteluperustasta ja toisaalta DEC C -luokan harvinaisten ulkoisten uhkien arvioinnista on vaikea nähdä kaikilta osin mielekkäinä, jos niitä sovelletaan kaikkiin mahdollisiin ulkoisiin tapahtumiin.

Ääriarvoteorian menetelmät antavat parhaimman arvion käytettävään tietoon nähden, mutta tyypillisessä tapauksessa mittaussarjojen pituudet ovat riittämättömiä, jotta niistä voitaisiin ekstrapoloida luotettavasti hyvin harvoin esiintyviä ääri-ilmiöitä.

Uusien ydinvoimaloiden rakentajilla ja suunnittelijoilla olisi huomattavasti helpompi työ, jos aikasarjojen kerääminen olisi aloitettu tuhat vuotta sitten. Tällöin GEV- ja GPD-menetelmien voisi odottaa olevan jo huomattavasti tarkempia. Tässä artikkelissa käytetyt menetelmät eivät toimineet riittävän hyvin tulipalodataan sovitettuna.

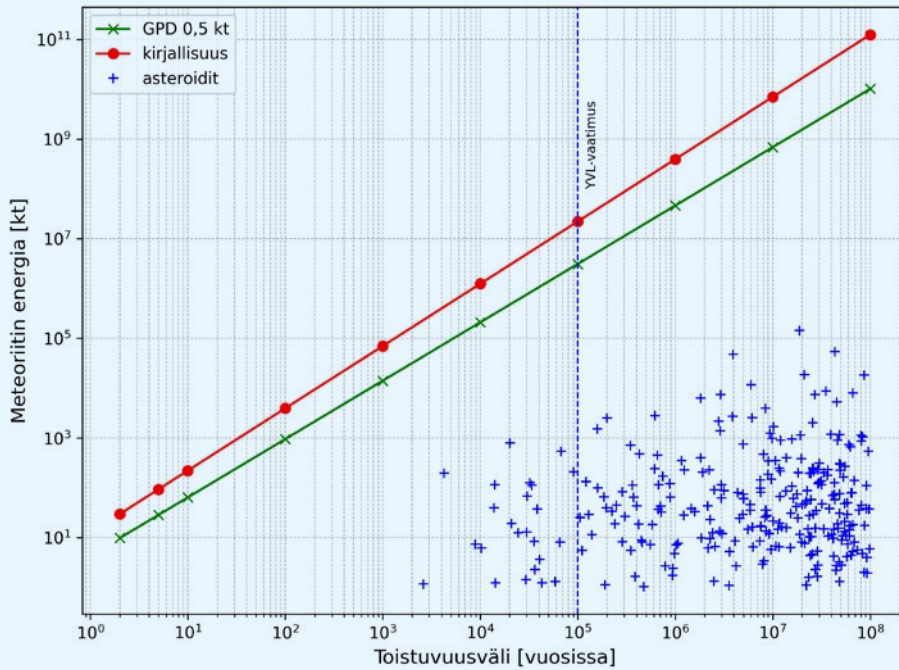
Asteroidien uhkaa on tutkittu ja arvioitu paljon. Tässäkin tapauksessa olisi mahdollista tehdä tarkempia ennustuksia tutustumalla laajemmin aiheesta oleviin tutkimuksiin. Lopputulos olisi oletettavasti samankaltainen. Mikäli kerran sadassatuhannessa vuodessa esiintyvä suurin meteoriitti osuu suoraan laitokseen tai sen lähetyville, ei yksikään ydinvoimalaitos (tai ihmisen rakennelma) selviä osumasta, olipa sen suuruus 50 Mt tai 20 Gt.

Yksittäisen laitoksen kohdalla suuren meteoriitin osumisen todennäköisyys on

alhainen, koska maapallon pinta-ala on huomattavasti suurempi kuin välittömän räjähdysalueen vaikutuspiirissä oleva alue. Toisaalta kymmenien gigatonniin räjähdysalueen kohdalla tuntuu todennäköiseltä, että yksi tai useampi ydinvoimalaitos olisi jo alueellisten vaikutusten piirissä. Kymmenien gigatonniin räjähdysalueen kohdalla alueellinen katastrofi mahdollisesti globaaleilla seuraamuksilla. Dinosaurukset sukupuuttoon ajaneesta räjähdysenergiasta oltaisiin kuitenkin vielä karkeasti viiden dekadin päässä.

Mikäli vaikutusten arviointi haluttaisiin viedä laitoksen suunnitteluperustaksi saakka, pitäisi seuraavaksi tarkastella törmäyksen vaikutusalueita ja sitä kautta arvioida laitospaikalle syntyviä olosuhteita. Tarkastelussa pitäisi huomioida myös suuren törmäyksen aiheuttama maanjäristys ja mahdollinen tsunami, mikäli meteoriitti osuu mereen.

Tämän artikkelin pohjalta voidaan tehdä johtopäätös, että aurinkokunnassa mahdollisesti maan kanssa törmäyskurssilla olevien asteroidien etsiminen, seuraaminen sekä torjuntakeinojen kehittäminen on ihmiskunnan kannalta turvallisuuskriittistä. Mitä suurempi asteroidi on, sitä todennäköisemmin se on havaittu ja sisältyy ESan ja NASAn riskilistaan. Hypoteettisista törmäysskenaarioista ja näiden estämisestä voi lukea NASAn sivuilta [6].



Kuva 4. ESAn tunnistamien potentiaalisesti maahan seuraavan 50 vuoden aikana törmäävien kappaleiden osumistodennäköisyydet muunnettuna vuositason toistuvuusväliksi sekä kirjallisuudessa esitetty sovite.

VIITTEET

- [1] NASA Center for Near Earth Objects, Fireball and Bolide data (haettu 13.7.2025): <https://cneos.jpl.nasa.gov/fireballs/>
- [2] Earth Impact Database, Github-kopio (haettu 13.7.2025): <https://github.com/cjwinchester/earth-impact-data>
- [3] European Space Agency, Near-earth Objects Coordination Centre, Risk list (haettu 17.8.2025): <https://neo.ssa.esa.int/risk-list>
- [4] Stephen R. Chesley et al, Quantifying the Risk Posed by Potential Earth Impacts, Icarus 159, 423-432 (2002)
- [5] David W. Hughes, The approximate ratios between the diameters of terrestrial impact craters and the causative incident asteroids, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 338, Issue 4, February 2003, Pages 999–1003
- [6] NASA Center for Near Earth Objects, Hypothetical Impact Scenarios (haettu 24.8.2025): <https://cneos.jpl.nasa.gov/pd/cs/>

KIRJOITTAJA



DI Tapani Raunio
Pääsuunnittelija
tapani.raunio@iki.fi

REDUCING RADIATION RISKS: THE ROLE OF ELECTROSTATIC PRECIPITATION IN NUCLEAR SAFETY

Satish Basnet, Anna Lähde
University of Eastern Finland

Electrostatic precipitation (ESP) can significantly decrease radioactive aerosol releases during severe nuclear accidents. The system offers an active technology that can improve the filtration efficiency compared to the current filtration systems. This article discusses how ESP technology can strengthen containment systems and reduce radiological risks to the environment.

Sähköstaattinen saostaminen (ESP) voi vähentää merkittävästi radioaktiivisten aerosolien päästöjä vakavien ydinonnettomuuksien aikana. Järjestelmämme tarjoaa aktiivisen teknologian, joka voi parantaa suodatustehokkuutta nykyisiin suodatusjärjestelmiin verrattuna. Tässä artikkelissa kerrotaan, kuinka ESP-tekniikka voi vahvistaa suojarakenteita ja vähentää ympäristön säteilyriskejä.

In the hierarchy of nuclear safety, managing the release of fission products during a severe accident presents one of the most complex yet essential challenges. Once structural barriers fail, radioactive aerosols can move throughout the containment atmosphere, especially those containing caesium and iodine (Figure 1).

Established mitigation methods like containment sprays, passive filtration, and natural deposition are crucial, but may not capture the fine or submicron particles that predominantly influence airborne activity [1]. To enhance these barriers, electrostatic precipitation (ESP) technology

could serve as an advanced option for reducing airborne source terms [2].

Potential of Electrostatic Precipitators

Electrostatic precipitators have been used for a long time in industrial air cleaning applications and are readily available for commercial uses. They work by electrically charging the gaseous particles and pushing them towards collection surfaces with the opposite charge [3].

Their application in nuclear safety is not entirely new, but recent studies, in-

cluding the 2025 work by Basnet et al. published in Nuclear Engineering and Design, showed experimentally that ESPs can remove over 90–99 % of caesium iodide aerosols under conditions that mimic a severe accident [4]. These findings indicate that including ESP devices in containment or filtered venting designs could significantly diminish the quantity of radioactive source terms emitted into the environment.

Operational Principles, Performance Factors, and Reliability

The ESPs are available in different configurations. However, all types are available as either a dry or wet type ESP. The dry ESPs use electrostatic force exclusively to attract and deposit charged aerosols onto collector plates (Figure 2), while wet ESPs incorporate charging along with the continuous or periodic washing of the electrode surfaces with water films or sprays [3].

Both approaches, if designed properly, achieve high collection efficiencies for larger and intermediate-sized particles, which are prevalent during the pressurisation and venting of containment. However, there are some advantages in the wet ESP compared to dry ESP. The wet setup helps prevent the re-entrainment of collected materials, minimises instability from corona discharge due to particulate accumulation, and improves the handling of hygroscopic or sticky aerosols commonly encountered in nuclear accident scenarios [5,6]. In addition, wet ESPs can reduce some fouling and back-corona issues that could restrict the long-term functionality of dry systems.

Nonetheless, the performance of ESPs is closely linked to factors such as particle size, charge distribution, gas composition, and flow conditions. Fine and ultrafine aerosols, which are often generated from the condensation or nucleation of volatile fission products, can be especially challenging to eliminate due to their low electrical mobility [6].

Laboratory observations indicate that ESPs can significantly reduce total aerosol mass. However, the particle number concentration may not decrease proportionally, suggesting that fractions of ultrafine particles may still be present downstream [2,4,7]. This situation highlights the necessity of integrating ESPs with secondary filters or condensers to effectively control both the mass and number concentrations of aerosols.

Another aspect of ESP application is its active operational characteristic. Unlike

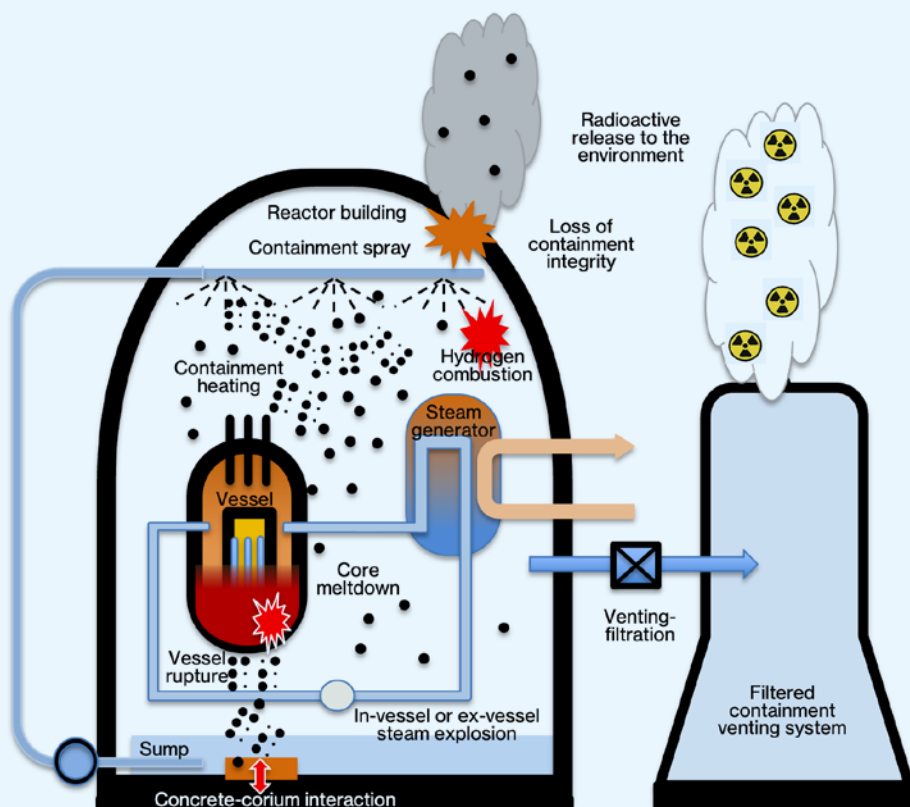


Figure 1: Typical phenomena during severe accidents in nuclear power plants with a water cooling and filtered venting system.

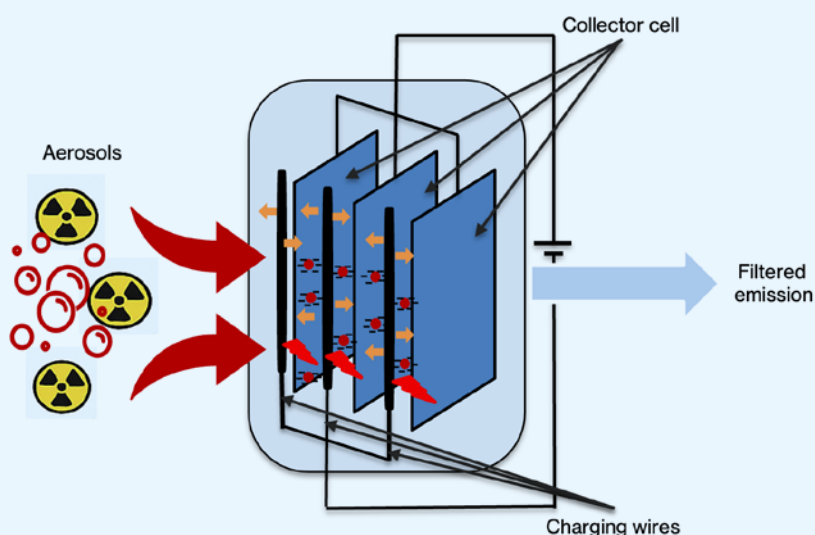


Figure 2: Operating principle of a typical ESP with fission products.

passive components like filters or condensation surfaces, ESPs need a constant supply of electric power to maintain their high-voltage fields. Typically, this does not create issues during regular operation. However, in serious accidents when off-site power loss or station blackout situations occur, the dependability of an ESP becomes questionable.

If the power supply is disrupted, the collection field collapses and the ESP stops working, exactly when it would be most beneficial. This limitation underscores the necessity for backup or independent power systems, potentially backed by batteries or emergency diesel generators, to guarantee ESP operation during prolonged blackout situations. These integration challenges need to be addressed before ESPs can be regarded as a reliable part of serious accident mitigation strategies.

From a design perspective, both dry and wet ESPs must tackle the harsh chemical and thermal conditions typical of post-accident containment environments. Steam, acidic compounds, and highly conductive aerosols can compromise electrode durability, insulators, and power systems [1].

Wet ESPs, while more resistant to particulate build-up, must deal with radioactive liquid byproducts produced during operation, introducing further demands for containment and decontamination. On the other hand, dry ESPs might experience dust layer formation and localised discharges that diminish efficiency or lead to sparking, particularly under varying humidity and radiation levels. These technical issues require careful material selection, regular testing, and incorporation into the overall thermal-hydraulic and radiological design strategy for containment.

Integration and Future Research

Despite these obstacles, the potential of ESP technology in source term reduction is significant. When utilised as a pre-filter before traditional scrubbers and filtered venting systems, ESPs can reduce particulate loading and extend filter life. Their scalable design allows adaptation for various reactor configurations, including light-water and advanced reactors.

Furthermore, with the emergence of small modular reactors (SMRs), ESP systems could be integrated more effectively due to their modularity and compact design. The smaller containment volumes and lower thermal power outputs of SMRs make it feasible to deploy ESPs

with optimized electrode geometries and lower power consumption. This allows efficient removal of fine aerosols and fission product particulates under varying accident conditions.

The reduced system footprint and flexibility in configuration also enable ESP units to be embedded directly within containment or venting lines, minimizing the need for large external filtration assemblies. For researchers and engineers,

ESPs offer an interdisciplinary research frontier linking aerosol physics, thermodynamics, and electrical engineering.

Future progress depends on an integrated system design that combines ESPs with condensation, filtration, and passive retention technologies to establish multi-barrier containment strategies. Further studies are needed to assess ESP performance in steam-rich and high-radiation environments, optimise electrode geom-

etry, and ensure reliable operation under degraded power conditions. If these challenges are met, electrostatic precipitation could evolve from an industrial air cleaning method into a core element of advanced severe accident mitigation, providing vital protection for people and the environment.

This research project is supported by the SAFER2028 research programme.

REFERENCES

- [1] J. Ahad, M. Ahmad, A. Farooq, K. Waheed, and N. Irfan, "Removal of iodine by dry adsorbents in filtered containment venting system after 10 years of Fukushima accident," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 30, no. 30, pp. 74628–74670, Jun. 2023, doi: 10.1007/S11356-023-27485-1/TABLES/3.
- [2] M. E. Moore, M. E. Keillor, D. M. Kasperek, A. R. Day, and B. D. Glasgow, "Electrostatic precipitator collection efficiency studies using atmospheric radon progeny as aerosol analogs for nuclear explosion radionuclides," *J Environ Radioact*, vol. 270, p. 107306, Dec. 2023, doi: 10.1016/J.JENVRAD.2023.107306.
- [3] J. H. Turner et al., "Electrostatic Precipitators," in *EPA Air Pollution Control Cost Manual*, Sixth Edition, D. C. Mussatti, Ed., North Carolina, 2002, ch. 6/3, pp. 690–758.
- [4] S. Basnet, A. Jäntti, P. Yli-Pirilä, M. Kortelainen, O. Sippula, and A. Lähde, "Performance of dry electrostatic precipitator for the removal of CsI aerosol particles under simulated severe nuclear accident conditions," *Nuclear Engineering and Design*, vol. 445, p. 114440, Dec. 2025, doi: 10.1016/j.nucengdes.2025.114440.
- [5] C. Teng, X. Fan, and J. Li, "Effect of charged water drop atomization on particle removal performance in plate type wet electrostatic precipitator," *J Electrostat*, vol. 104, p. 103426, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.ELSTAT.2020.103426.
- [6] E. Sokolovskij, A. Kiliševičius, A. Chlebnikovas, J. Matijošius, and D. Vainorius, "Innovative Electrostatic Precipitator Solutions for Efficient Removal of Fine Particulate Matter: Enhancing Performance and Energy Efficiency," *Machines* 2024, Vol. 12, Page 761, vol. 12, no. 11, p. 761, Oct. 2024, doi: 10.3390/MACHINES12110761.
- [7] D. G. Poppendieck, D. Rim, and A. K. Persily, "Ultrafine particle removal and ozone generation by in-duct electrostatic precipitators," *Environ Sci Technol*, vol. 48, no. 3, pp. 2067–2074, Feb. 2014, doi: 10.1021/ES404884P/SUPPL_FILE/ES404884P_SI_001.PDF.

AUTHORS



Satish Basnet

Doctoral student

Department of Environmental and Biological Sciences, University of Eastern Finland
satish.basnet@uef.fi



Anna Lähde

Professor in Aerosol Technology

Department of Environmental and Biological Sciences, University of Eastern Finland
anna.lahde@uef.fi

Master's Thesis

OPERATIONAL MATURITY OF GEN IV REACTOR DESIGNS

Pyry-Pekka Koistinen
Fortum Power and Heat Oy

This master's thesis analyzed the operability issues of fourth generation nuclear reactors with the method of phenomena identification and ranking table (PIRT). A growing interest is being shown in these reactors due to their promised benefits, but major unsolved design challenges make the reactors not yet commercially mature.

Tässä diplomityössä arvioitiin neljännen sukupolven (GEN IV) ydinreaktoreiden käytettävyyden ongelmia phenomena identification and ranking table (PIRT) -menetelmällä. Maailmanlaajuinen kiinnostus GEN IV -reaktoreita kohtaan on kasvamassa niiden lupaamien lukuisten hyötyjen vuoksi, mutta merkittävien ratkaisemattomien suunnitteluhaasteiden johdosta mikään näistä ei ole vielä riittävän kypsä kaupallistumista varten.

Currently, the various new nuclear projects around the world are focused on reactors that are licensed, constructed, and operated, or alternatively those that need only confirmatory testing or engineering. These are sometimes called GEN III and GEN III+ reactors that in general resemble the previous generation light-water reactors. Different approaches to design, such as the aim to utilize passive safety systems and modular construction, however, are introduced. Going further, the GEN IV, or innovative designs, bring major conceptual changes to the existing practice.

GEN IV reactors promise notable benefits, such as increased thermal efficiencies, better ability for utilization in industrial cogeneration applications and in some instances, the possibility of net-positive

generation of fissile material through fuel breeding. These reactor concepts have existed for a long time, but the notable challenges compared to light-water reactors, such as with fuels and structural materials, historically set them less preferred and developed.

GEN IV REACTORS

The six general GEN IV reactor designs are the very high-temperature reactor (VHTR), the sodium-cooled fast reactor (SFR), the lead-cooled fast reactor (LFR), the molten salt reactor (MSR), the supercritical water reactor (SCWR), and the gas-cooled fast reactor (GFR). From these, the first four have been demonstrated at least on an experimental scale.

As a common factor, the high core outlet temperatures can be seen as a clear advantage in all six designs. The fast reactors generally have a higher power density than generic LWRs. This brings both economic benefits and safety concerns; smaller cores require smaller pressure vessels, but issues regarding residual heat removal are more severe. The scalability of the reactors is also quite good, as both large and small units have been considered in design.

Many historical predecessors of the GEN IV reactors, operated as experimental and demonstrator units, suffered from poor operating performance. While the comparison of these with currently operating and highly performing reactors is not completely equitable, the demonstration of safe and reliable operation would be needed before any utility would consider employing them.

At the moment, there are two operating SFR power reactors, both at the Beloyarsk power plant in Russia. These reactors have operated with moderately good performance, with capacity factors ranging from 60–80%. In China, the HTR-PM, a small modular VHTR-type reactor also went to commercial operation in 2023. In addition to these, a few non-electric experimental SFR and VHTR units are operating in China, Russia, India and Japan.

PIRT FOR OPERATIONAL RISK ASSESSMENT

The method used in this thesis for assessing the operability issues of these reactors is an applied phenomena identification and ranking table (PIRT). This method is used to identify the most important operability-related phenomena of the selected designs and then ranking the phenomena based on their importance and knowledge levels. The information base for the method is the historical operational experience data from the current and past reactor operators and the IAEA database information on historical production values and performance indicators. The study is conducted on the four reactors with past operating experience: the VHTR, SFR, LFR and MSR.

The PIRT conducted in this thesis differs from its usual implementation. Typically, a panel of experts is used to assess the phenomena, but in this case the ranking is done with a failure modes and effects analysis. The main results of the study are illustrated in Table 1. Here the most important operability-affecting phe-

Table 1. Most important operability-affecting phenomena identified from the PIRT-study. Calculated values of the importance and uncertainty ranking range from 1 to 5. Low values represent insignificant and well understood phenomena and high values represent highly impactful and not understood phenomena.

Phenomena	Failure mode / Scenario	Importance ranking	Uncertainty ranking
Very-High Temperature Reactor			
Graphite dust	Maintenance difficulty, loss of efficiency	3,91	3,46
Pressure vessel and heat exchanger materials for COT above 800 °C	Structural material failure	3,56	3,87
Moisture removal from coolant and fresh fuel	Corrosion issues due to oxidization	3,56	3,46
Sodium-Cooled Fast Reactor			
Remote operations inside reactor vessel	Failure of remotely operated machinery	3,91	3,46
Inspections and maintenance of in-sodium equipment	Fires, failure of remotely operated machinery	3,63	3,46
Large secondary sodium leak	Sodium fires and loss of a cooling loop	3,42	3,46
Lead-Cooled Fast Reactor			
Remote operations inside reactor vessel	Failure of remotely operated machinery	3,63	4,47
Structural materials for COT above 500 °C	Corrosion by coolant, structural material failure	3,91	4,47
Functioning of coolant purification system	Coolant oxidization resulting in corrosion and blockage formation	4,31	3,87
Molten Salt Reactor			
Remote operations inside reactor compartment	Failure of remotely operated machinery	3,91	4,00
Online refuelling and salt processing	Failure of online fuel processing	3,56	3,87
Corrosion resistant structural materials	Corrosion by salt, structural material failures	3,56	3,87

nomena, along with their failure modes and final importance and uncertainty ranks are presented. As an overview, reactors having the longest historical operating experience, the SFR and VHTR, are also the most technologically mature from the viewpoint of operability.

For the **VHTR**, the most affecting identified phenomena are graphite dust, structural materials for high core outlet temperatures and moisture removal from coolant and fresh fuel. The graphite dust accumulation occurs due to mechanical wear and thermal expansion of graphite components, and more uncommonly due to fuel failures, causing issues with maintenance.

Material limitations for core outlet temperatures above 800 °C remain unresolved, as current ASME-qualified alloys like Alloy 800H cannot withstand such conditions, and alternative materials are currently lacking qualification and face issues with corrosion and creep. For lower temperatures and the utilization of pressure vessel cooling, the use of standard PWR pressure vessel steels is possible. The moisture ingress can degrade structural materials even in low amounts, leading to unplanned unavailability or

shutdowns, making effective coolant purification systems essential [2].

For the **SFR**, the most important phenomena are remote operations inside the reactor vessel, inspections and maintenance of in-sodium equipment and large secondary sodium leaks. The remote operations inside the sealed reactor vessel bring significant operability challenges, especially for refueling and maintenance of primary sodium components. This is caused by the high reactivity of sodium with air and water.

These tasks require complex, leak-tight systems, such as rotating plug vessel heads, in-sodium manipulators, fuel transferring machines and sodium-filled storage tanks. The reliability requirements of these systems is critical due to their time-consuming repair or replacement. Failures in these systems have historically led to long unplanned unavailability and reduced performance, though their principles are now well understood. Secondary sodium circuit leaks are probable and disruptive, with past events causing structural damage and major downtime [3].

For the **LFR**, the most important phenomena are remote operations inside the

reactor vessel, corrosion-resistant structural materials and functioning of the coolant purification system. The LFR shares similar operational challenges with the SFR, particularly with fuel handling and in-vessel maintenance. Lead coolant offers some safety benefits due to its inertness with air and water, but air ingress to the reactor should be avoided due to the risk of solid lead oxide formation.

Structural material integrity is also a major issue, with lead's corrosiveness demanding chemical regulation, and potentially protective coatings to steels, though these are still under development. While some corrosion control methods have been demonstrated in historical LBE (Lead-Bismuth Eutectic) submarine reactors, the data is limited, and the high severity and likelihood of failures contribute to the overall risk ranking [4].

For the **MSR**, the most important phenomena are remote operations inside the reactor compartment, online refueling and salt processing systems, and corrosion resistant structural materials. These phenomena are both important and uncertain due to limited operational experience. The molten salt reactor experiment

Table 2. Currently ongoing GEN IV projects in different states of development [1].

Stage of development	Description	Projects	Examples
1. Conceptual design	Key components, layout drawings, single line diagrams are available	31	Otrera New Energy / OTRERA-300
2. Basic design	Brief descriptions of key components and systems are provided	5	NCBJ / HTGR-POLA
3. Detailed design	System descriptions, safety analyses and licensing documents are available. Itemized cost estimate and master schedule for the construction phase have been prepared.	10	Jimmy Energy / JIMMY
4. Engineering Demonstration	Construction or planning of a nuclear demonstrator/ prototype plant. Gain of operating experience.	9	X-Energy / Xe-100
5. Commercial demonstration	Construction of a first of a kind, full-scale plant	2	OKBM Afrikantov / BN-1200

(MSRE) operated in the 1960s demonstrated some fuel salt processing abilities, but full-scale systems for fission product removal and salt chemistry control remain technologically immature.

The corrosion of structural materials by fluoride salts and fission products, especially under irradiation, poses severe challenges, with historically used materials such as Hastelloy-N showing vulnerabilities and new materials still under development. The maintenance in MSRs is complicated by high temperatures and radiation, requiring remote handling of irradiated components, yet such systems lack demonstration [5].

CURRENT DEVELOPMENT OF GEN IV

In the recent years, development of GEN IV reactors in the western world has shift-

ed from national laboratories and research facilities towards privately owned companies. These include both traditional large nuclear energy companies as well as small start-ups. However, the most mature designs and ongoing construction projects are currently located in China, Russia and India, controlled by the public sector.

The major challenge for the western companies is to acquire and utilize the knowledge generated during the operation of historical experimental and demonstration reactors, as well as to develop a technologically and economically feasible system. A listing of the amount of GEN IV projects in different states of development along with examples is shown in Table 2.

In the western countries, multiple demonstration reactors are planned for the coming years. The experimental molten salt reactors Natura Resources MSR-1 and Kairos power KP-FHR demo

HERMES have been granted construction permits by the NRC. Other demonstrators planned are the SFR TerraPower Natrium and the VHTR X-energy Xe-100. TerraPower and X-energy have applied for construction permits and plan to operate their demonstrator reactors in the 2030s.

At the moment, there are two projects in the most advanced stage of development: the HTR-PM 600 and the BN-1200. Both these reactors have “demonstrator” units currently in operation (HTR-PM, BN-800). The options of wide commercialization of these reactors are uncertain. The HTR-PM 600 might be sold outside the domestic Chinese market, but the local Russian and Chinese applications are the main targets for these reactors.

This thesis has been accepted at LUT University on 24.11.2025.

REFERENCES

- [1] International Atomic Energy Agency (2025) Advanced Reactor Information System (ARIS) [Online] [Available: <https://aris.iaea.org>]
- [2] Beck, J.M. & Pincock, L.F. (2011) High Temperature Gas-Cooled Reactors: Lessons Learned Applicable to the Next Generation Nuclear Plant. Idaho National Laboratory
- [3] International Atomic Energy Agency (IAEA). (2013) Design Features and Operating Experience of Experimental Fast Reactors. IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-1.9
- [4] Troyanov, V.M., Vasilenko, V.A., Kolik, M.V., Stepanov, V.S. & Toshinsky, G.I. (2024) 'Lessons learned from the experience of operating lead-bismuth nuclear power reactors', Atomic Energy
- [5] International Atomic Energy Agency (IAEA). (2023) Status of Molten Salt Reactor Technology, Technical Reports Series No. 489, IAEA, Vienna (2023)

AUTHOR



M.Sc. (Tech.) Pyry-Pekka Koistinen
Fortum Power and Heat Oy
pyry-pekka.koistinen@fortum.com



KAHTIAJAKO ON ALKANUT

MAAILMAN IHMISET JAKAUTUVAT kuumemman kovaa vauhtia kahteen ryhmään. He voivat jakautua niihin, jotka osaavat käyttää tekoälyä ja niihin, jotka eivät osaa. Mutta ehkä sellaista jakoa ei tule! Tekoäly tulee kaikkialle ja me kaikki käytämme sitä – halusimme tai emme.

Jo nyt normaali verkkohaku tuottaa myös tekoälyn kuvauksen haetusta aiheesta. Käytämme tekoälyä koko ajan huomaamattamme puhelimella tai tietokoneella. Tulevaisuudessa verkkohaut ja nettineuvottelut ovat taustalla pyörivän tekoälyn ohjaamia ja hallinnoimia.

Mutta tekoälyyn liittyy myös vaaroja. Miten estää valtiollisten toimijoiden verkoon syöttämä, jonkin asian peittämiseen tarkoitettu valtava virheellisen tiedon mas-

sa? Jos sille ei tehdä mitään, se estää tekoälyä tuottamasta meille asiaa koskevaa oikeaa ja kattavaa tietoa. Väärän tiedon huomaa, mutta tiedon puuttuminen kokonaan on hyvin vaikeata huomata.

Toisaalta jo nyt tiedotusvälineet ohjaavat tietoa valtaviirran ajattelun mukaan ja lehtiartikkelit ovat, kieli- ja käännösvirheiden lisäksi, täynnä virheellistä tietoa. Eipä se aina haittaa! Usein tahaton huumori kukkii näissä kesätoimittajan tai tekoälyn tuottamissa luomuksissa. Tiesittekö, että henkilö, joka auttaa rikkomaan lakia ennen pidätystä on rikostoveri, mutta henkilö, joka auttaa rikkomaan lakia vasta pidätyksen jälkeen on asianajaja?

TAPAHTUUKO JAKO KAHTIA väestön poliittisten suuntausten mukaan? Ei siltä näytä. Tosin Yhdysvalloissa kahtiajako demokraatteihin ja oransseihin republikaaneihin syvenee koko ajan. Violetteja republikaaneja, jotka eivät toistelee istuvan presidentin horinoita totuutena, on yhä vähemmän.

Jenkkien jako on sukua ikivanhalle isojaolle: tyhmiin ja viisaisiin. Keskiajalla kirkko kertoi, mihin ryhmään sinun tulee kuulua. Mutta mistä nyt tietää kumpaan ryhmään kuuluu? Helppoa. Jos olet jääkiekon ystävä ja ydintekniikan alalla, voit tehdä seuraavan testin, jossa vastaat väitteisiin nopeasti kyllä tai ei.

Väite yksi: Samaistun enemmän Teemu Selänteen kuin Barack Obaman mielipiteisiin maailman ja Yhdysvaltain politiikasta. Väite kaksi: Osaan kehua Vladimir Putinin rinnalla Venäjän ydintekniikan nuorison määrän ja älyn kasvua vähintään saman verran kuin IAEA:n pääjohtaja Grossi.

Jos saat kaksi "kyllä"-vastausta, saat ihan itse sijoittaa itsesi sopivaan ryhmään. Toivottavasti se onnistuu. Jo yhdellä kylä-vastauksella pääsee jäseneksi MASA-ihmisten ryhmään (MASA = make America stupid again).

SITTEN YDINVOIMAAN, kun kerran olemme ATS:n lehdessä. Vuosikymmen sitten näytti siltä, että suurten reaktorien aika Euroopassa on ohi ja SMR-laitokset ovat vain haaveita. Nyt tilanne on toinen. Puola, Tshekki ja Hollanti käynnistelevät isojen laitosten hankkeitaan, Unkarin laitoshankkeita jatkuu ja SMR-laitosten suunnitteluhankkeita nousee kuin sieniä sateella.

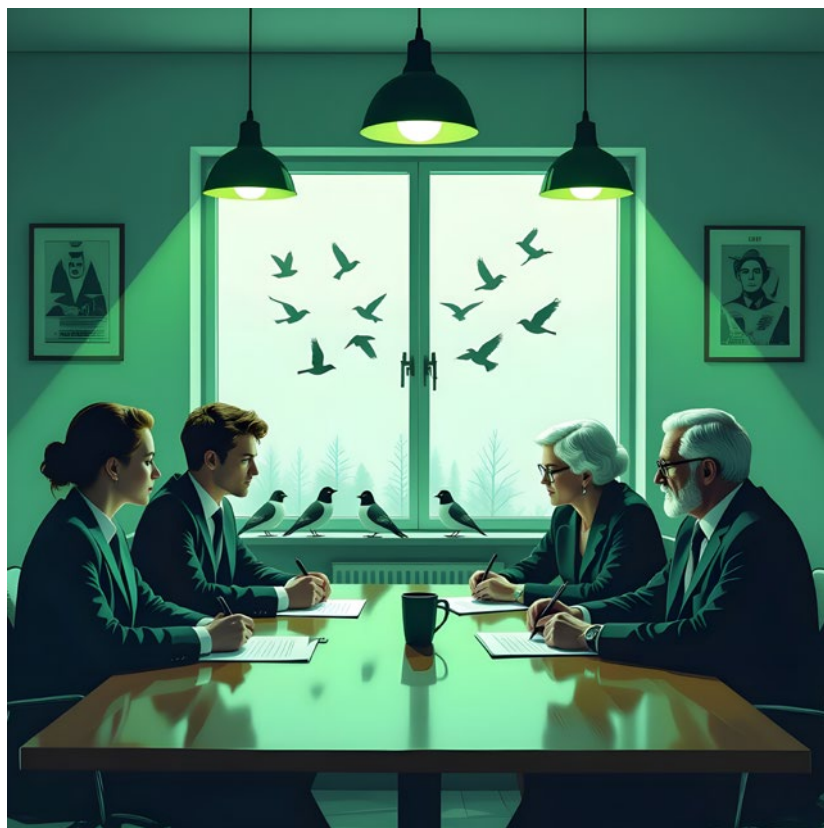
Hankkeet hamuavat riskirahaa ja tähtäävät ensi vuosikymmenelle. Silloin alkanee pudotuspeli, josta vain muutama teknologia selviää voittajana. Useimmat hankkeet eivät etene seminaariesityksiä ja mainospuheita pidemmälle. Hienoa on, että tähän kehitykseen tarvitaan paljon meitä ydinalan osajia ja ympäri maailman. "Kyllä elämä on ihmisen parasta aikaa", sanoi alamäkiäjä Matti Nykänen aikoinaan.

Suomen ydinenergia-alan säännöstö uudistuu kovaa vauhtia ja vanhat peri-



Yrjö Ydin

Kuvissa lainlaatijat uudistavat ydinenergiakia, kun vihreät ajatukset perustuslaista ohjaavat työtä. Näkemyksestä vastaa tekoäly.



aatteet menevät romukoppaan. Puisevaa 1980-luvun ydinenergiakia lukemalla sai aiemmin hyvät yöunet. Nyt menetän yöuneneni, kun tutkin uutta lakia ja sen monimutkaisia koukeroita. Ydinalan johtajat saisivat tutkia uutta säännöstöä ja viilata lakipykälää ennen niiden betonoimista.

Viime vuosien laitoshankkeiden hidas-teluopeilla ei pitäisi korvata vanhan lain ri-peitä ja yksinkertaisia malleja. Vaikuttaa sil-tä, että vihreästi ajattelevien selitykset lain perustuslain mukaisuudesta ovat menneet läpi. Nuo ajatukset ohittavat vanhan perus-ajatuksen ydintekniikan säännöstön tehokkuudesta ja turvallisuuden painotuksesta.

ME SUOMESSA JAKAUDUMME kahtia: suomalaisiin ja junan tai bussin tänne tuomiin ulkomaalaisiin. Suomalaisuuden ytimeen kuuluu kysyä, mitä ulkomaalainen ajattelee meistä suomalaisista. Kysymyksen juuret ovat kansallisen itse-tunnon puutteessa. Tosin saimme itsetun-toa hiukan ylös jääkiekon maailmanmesta-ruuksilla ja Nokian huiman nousun avulla. Jalkapallossa joukkueemme pohtii yhä mitä vastustajat ajattelevat meistä, jolloin pallo katoaa ja tappio tulee.

Mutta suomalaisten maine on huo-no myös muutoin. Pääkaupungin pää-sanomalehti ja yleisradio kertovat usein yhteen ääneen Suomen maineen maail-malla menevän tuon ja tämän asian vuok-si. Toisaalta ne ovat ytimessä ja kysyvät, mitä Suomessa asuvat ulkomaalaiset ajat-televat suomalaisista. Ja ulkomaalaiset

kertovat aina uudestaan tulevansa syrji-tyiksi. Varsinkin, jos heille kerrotaan yh-teiskunnan heille suunnattuja tukia su-pistettavan.

Kamalaa syrjintää esiintyy, koska he ovat ulkomaalaisia ja eivät osaa kunnol-la suomea. Toisaalta ravintoloissa on ul-komaalaisia tarjoilijoita, joista osa ei osaa suomea ollenkaan. Siivous- ja rakennus-alalla tilanne on sama. Suomea osaamat-tomia on useilla työmailla jopa enemmistö. Olisiko haettu huonompiin työehtoihin ja pienempään palkkaan tyytyviä?

Tarvitseeko kulttuurimme muutosta, jos kieltämme osaamaton ei heti työllisty. Suomea ja suomalaisuutta ei ole helppo oppia, vaikka haluaisi. Moni Suomeen tul-lut ulkomaalainen on ylpeä juuristaan, eikä halua muuttua suomalaiseksi vain saadak-seen töitä. Ehkä kylmiä asenteitamme ja fyysisen etäisyyden tarvetta ei kannattai-si jatkuvasti toittotaa maailmalle. Kylmään ja pimeään Pohjolaan tuleminen pelottaa jo nyt. Onneksi haikaran tuomat ulkomaal-aisen näköiset sopeutuvat hyvin, ja rikas-tavat kulttuuria ja köyhää geenistöä.

MONI SUOMALAINEN ei enää osaa elää vuodenaikojen rytmisissä. Hän haluaa kaik-kia tuotteita koko vuoden ja oman mielen mukaan, vaikka tuoretuotteen paras seson-ki olisi jo mennyt aikaa sitten. Niinpä ruoan

laatu laskee. Raakana poimitut mansikat ei-vät maistu millekään. Tomaatit eivät mais-tu auringolle, vaan niissä maistuu kasvihuo-neen kylmä ja kalan maun antava keinovalo.

Kovat, vihreät banaanit maistuvat kesä-aurion sijaan laivan pimeältä ruumalta. Lapsuudesta tuttu, kesän tuoreiden vihan-nesten ja hedelmien maku on vain muisto. Vihannekset olivat maistuvia ja huonompi-kin liharuoka, vaikka läskisoossi ja lenkki-makkara, maistui niiden rinnalla.

Lapsuuden onnelliset päivät ovat mie-lenkiintoinen asia. Syntyikö onni siitä, kun joku muu otti vastuun? Ihminen kuulem-ma kuuntelee mielellään sen aikakau-den musiikkia, jolloin hän oli onnellinen. Suosikkikappaleet ovat ensirakkauden kanssa tanssittuja hitaita valsseja tai van-hempien rahisevasta levysoittimesta kesä-yöhön kaikuneita hassuja laulelmiä.

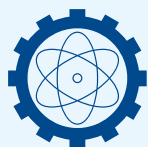
Näitä muistoja kaipaaville suositte-len esimerkiksi "Valehtelijan valssia" tai "Sorsanmetsästystä". Niissä on oikeaa ke-vyttä musiikkia. Musiikkia pitäisi yhä teh-dä vastaavalla keveydellä. Ei kevyttä mu-siikkia pidä tehdä haudankaivajan asussa ja hautaan valmiilla ilmeellä. Festareilla vedetään kyllä ilolientä, mutta musiikki on kirkkomusiikin sukujuurta. Ilmankos ahdis-tusta riittää! No, antihuumori on yksi huu-morin lajityypeistä. Siitä hauskuus on tar-koituksellisesti jätetty pois. ☸

Palautusosoite:

Suomen Atomiteknillinen Seura
c/o Tommi Lyytinen
PL 1000
02044 VTT

Osoitteenmuutokset:

sihteeri@ats-fns.fi

**ATS**

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

**KANNATUS-
JÄSENET**

AFRY FINLAND OY

FINNUCLEAR RY

FORTUM POWER AND
HEAT OY

HELEN OY

KONECRANES OYJ

LUT-YLIOPISTO

PAGODE OY

PLATOM OY

POHJOISMAINEN
YDINVAKUUTUSPOOLI

POHJOLAN VOIMA OYJ

POSIVA OY

STEADY ENERGY OY

SWECO FINLAND OY

TEKNOLOGIAN TUTKIMUS-
KESKUS VTT OY

TEOLLISUUDEN VOIMA OYJ

WESTINGHOUSE