

ATS

4|2023

Vol. 52

YDINTEKNIikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

Fuusiovoimalaitos tarvitsee lupajärjestelmän

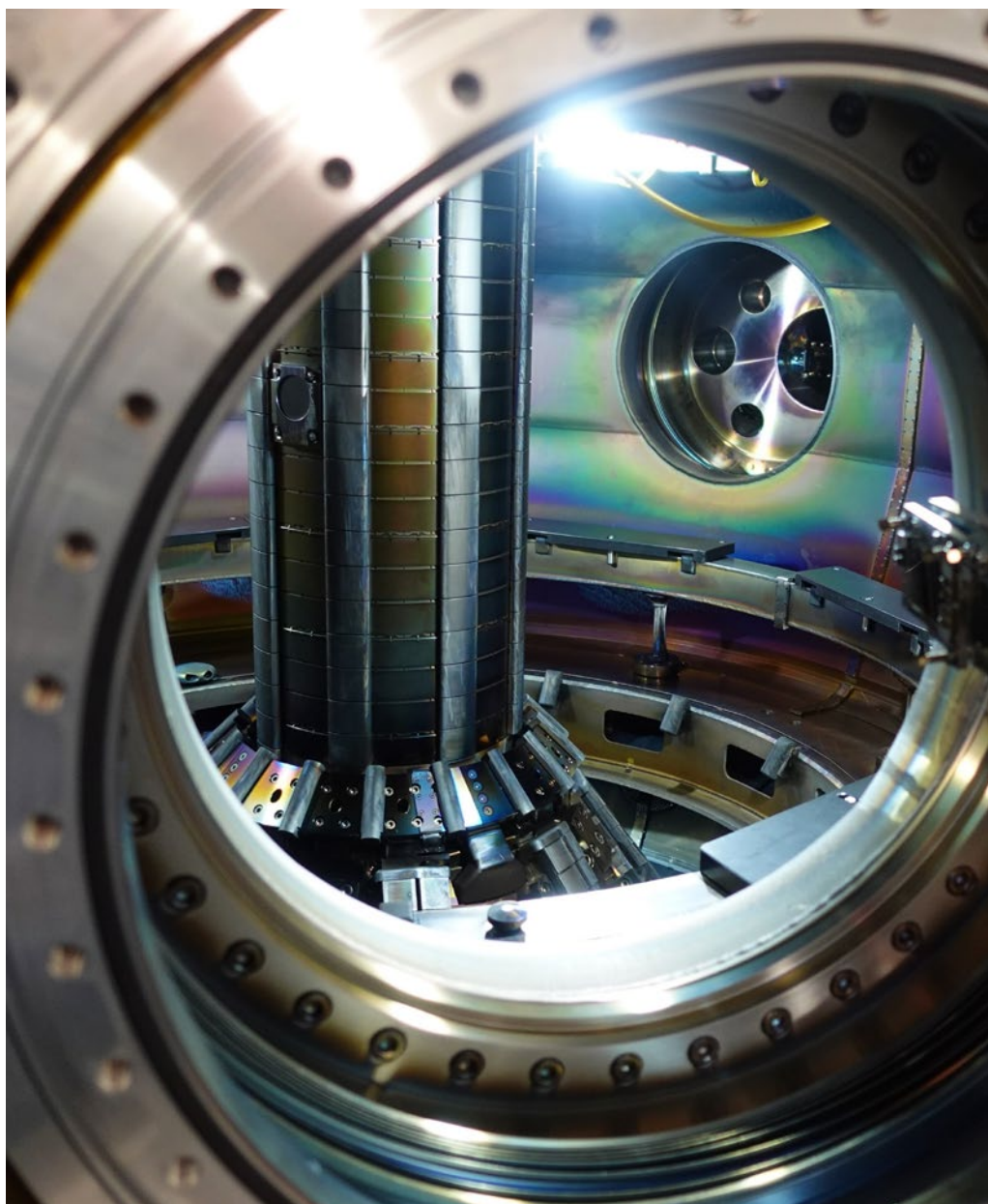
Fuusiotutkimus on etenemässä rakentamisoluvaiheeseen, jossa tarvitaan lupajärjestelmää. Ehditäänkö fuusioreaktorien luvitus saada uudistettavana olevaan ydinennergialakiin vai voisiko peräti soveltaa säteilylakia?

Pidättyykö radium Olkiluodon kalliossa?

Käytetyn ydinpolttoaineen pääkomponentti on uraani-238, joka hajotessaan tuottaa radiumia. Radium aiheuttaa suuren säteilyannoksen, joten sen kulkeutuminen kalliopölyssä on tärkeä tutkimuskohde.

Syysseminaari perinteisin menoin

ATS:n syysseminaariin kokoontui reilut sata jäsentä. Ohjelma noudatti perinteitä, vaikka paikkana oli ensimmäistä kertaa Helsingin yliopiston pääarakennus.



Julkaisija / Publisher

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

Johtokunta / Board**Puheenjohtaja / President**

TkT Markus Airila
puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja / Vice President

DI Hanna Tynys
hanna.tynys@fortum.com

Sihteeri / Secretary General

FM Jussi Peltonen
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Elina Syrjälähti
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

Jäsenet / Board Members

DI Olli Nevander
olli480@hotmail.com

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

TkT Antti Snicker
antti.snicker@aalto.fi

Toimihenkilöt / Functionaries**ATS Young Generation**

DI Pekka Pihlanko
pekka.pihlanko@platom.fi

Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

DI Santeri Myllynen
santeri.myllynen@fortum.com

Women in Nuclear Finland

FM Jenna Levo
jenna.levo@tvo.fi

www.vastaava / Webmaster

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

ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkL Eero Patrakka
eero.patrakka@kolumbus.fi

Toimitus / Editors**Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief**

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

Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

FT Antti Rätty
antti.ratty@vtt.fi

Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

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

Ulkoasu ja taitto / Layout

Katariina Korhonen
Creatus
katariina@creatus.fi

Toimitus / Editorial Staff

FM Sophie Haapalehto
sophie.haapalehto@posiva.fi

DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@gmail.com

TkT Henri Loukusa
henri.loukusa@gmail.com

DI Aleksi Savolainen
aleksi.savolainen@tvo.fi

FT Mervi Söderlund
mervi.soderlund@fortum.com

Toimituksen yhteystiedot**ATS Ydintekniikka**

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

Painopaikka

Hämeen Kirjapaino Oy, Espoo
ISSN-0356-0473

Vuonna 1966 perustetun Suomen Atomiteknillisen Seuran (ATS) tarkoituksena on edistää ydintekniikan alan tuntemusta ja kehitystä Suomessa, toimia yhdyssiteenä jäsentensä kesken kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi sekä vaihtaa tietoja ja kokemuksia kansainvälisellä tasolla. ATS on Tieteellisten seuran 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: ST40 by Tokamak Energy.

Virstanpylväitä

VIRSTA ON VANHA PITUUSMITTA. Suomessa on käytetty metripohjaista systeemiä jo toistasataa vuotta, mutta siitä huolimatta nämä vanhat yksiköt edelleen tulevat vastaan joissakin sanonnoissa. Ensimmäisten pakkasten aikaan vanha kansa kehottaa menemään mieluummin reilun kilometrin kiertotietä kuin 15 senttiä heikoille jälle.

Vanhojen maanteiden varsilla näkyy vielä paikoitellen kilometritolppia, mutta silti merkittävistä aikaansaannoksista puhutaan virstanpylväinä, joita teiden varsilla oli 1800-luvulla. Vaikka SI-systeemiä vankasti kannatankin, niin onhan virsta terminä iskevampi kuin kilometri.

Ydinalalla elämme merkittävien virstanpylväiden aikaa. Olkiluoto 3:n ensimmäinen kriittisyys, ensimmäinen sähköverkkoon kytkeytyminen ja kaupallisen käytön alkaminen ovat tällaisia merkkipaaluja. Päivämäärät

21.12.2021, 12.3.2022 ja 16.4.2023 ovat suomalaisen ydinalan tuoreimpia virstanpylväitä.

Tämänhetkisen tiedon mukaan parin vuoden sisällä on edessä Posivan tärkein virstanpylväs eli loppusijoituksen aloittaminen. Tämän edellytyksenä on valtioneuvoston myöntämä käyttöluupa, jota koskevan hakeuksen Posiva jätti 30.12.2021. Käyttöluvan myöntöpäivä sekä kapselointiprosessin aloittamispäivä tullaan kirjaamaan vuosikirjoihin.

Tämänhetkisten näkymien mukaan ydinalan virstanpylväät Suomessa eivät suinkaan ole loppumassa tähän. Fortum on ilmoittanut selvittävänsä ydinvoiman lisärakentamista Suomessa ja Ruotsissa, minkä lisäksi useat muut energiayhtiöt, Helen etunenässä, ovat edistämässä ydinkaukolämmön käyttöönottoa. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen näkökulmasta toivotan hankkeille onnea ja menestystä!



Kun opiskelija kysyi luennolla perustelua, miksi Saksa päätyi ydinvoimaloidensa sulkeamiseen, niin diplomaattisille kyvyille tuli akuutti tarve. Sain mielestäni muotoiltua vastauksen, joka ei loukannut luentosalissa mahdollisesti olleita Saksan ystäviä. En usko Saksan kovin pian myöntävän julkisesti, että ydinvoiman alasajo oli virhe, mutta elättelen silti pientä toivoa, että siinäkin maassa vielä tulisi positivisia virstanpylväitä ydinenergia-alalla.

Jarmo Ala-Heikkilä
Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Virstanpylväitä.....	3
Pääkirjoitus: Me teimme sen.....	4
Editorial: We did it.....	5
Pakina: Pelottava maailma.....	43

Tapahtumat

ATS YG Summer Symposium 2023.....	6
Käyttökokemuksia ja onnettomuuksia ATS YG:n seminaaristeilyllä.....	8
DigiDECOM 2023 -konferenssi.....	12
ATS-jäsentilaisuus STUKissa 10.10.2023.....	14
ATS:n syysseminaari 9.11.2023.....	17

Ajankohtaista

Primäärijäähdytteen puhdistus- järjestelmän muutos.....	20
--	----

Japanin ydinvoima murroksessa.....	23
------------------------------------	----

Tiede ja tekniikka

I'd like to build and operate a fusion power plant— who will license it?.....	25
--	----

Mitkä periaatteet ohjaavat mahdollisten pienydinvoimaloiden ydinjätehuoltoa? Suurten kaupunkien asukkaat kannattavat keskittämistä.....	30
--	----

Radiumin pidättyminen kiteisessä kivessä – autoradiografiaa ja sorption mallintamista.....	35
--	----

Diplomityö: Lauhdepumppujen kavitaatiotilanne ja soveltuvuus OL1- ja OL2-laitos- yksiköiden korotetulla tehotasolla.....	39
---	----

Diplomityö: Safety Engineering Practices – Case Loss of Ultimate Heat Sink.....	41
---	----

Me teimme sen

ON HIEENOJA PÄIVIÄ ja on loistavia päiviä. Omalla kohdallani syyskuun 28. lukeutuu viimeksimainittuun kategoriaan. Olkiluodossa vihittiin tuolloin virallisesti käyttöön Olkiluoto 3 -laitosyksikkö.

Lainaan tässä puhettani kyseisestä Pure Energy -vihkiäistilaisuudesta jakaakseni tunnelmat ja kiitokset kaikkien alalla vaikuttavien kesken. En usko olevani mielipiteeni kanssa yksin, kun totean, että ilta oli taatusti ikimuis-
toinen. Pitkä ja tärkeä projekti sai ansaitsemansa huipennuksen.

Mutta siis, puheeni kuului kutakuinkin näin:

Meitä on koeteltu, mutta henkilökohtaisesti minulla ei ole koskaan ollut epäilyksiä.

Me olemme yhdessä rakentaneet yhden maailman suurimmista voimalaitoksista, ja siinä sivussa saaneet aikaan suurimman ilmastoteon Suomessa ja ehkä jopa koko Euroopassa. Samalla olemme tehneet Suomesta myös lähes omavaraisen sähköntuotannossa.

Yhdessä uusiutuvan energian kanssa Suomesta on tullut houkuttelevampi paikka muille luotettavaa ja puhdasta energiaa tarvitseville investoinneille. Olkiluoto on nyt Suomen merkittävin sähköntuottaja, tuottaen noin 30 % Suomen sähköstä.

Olkiluoto 3 on sen verran mammuttimainen hanke, että sanalle ME voi ja pitää pistää valtavasti painoarvoa. ME olemme saattaneet OL3-projektin päätökseen yhdessä, ja jokainen on taatusti antanut oman panoksensa. Kokonaisuudessaan kiitoslista on hyvin pitkä, vaikka avaisin sitä vain otsikkotasolla:

TVO:n työntekijät, AREVA, Siemens, kaikki alihankkijat, TVO:n osakkaat, poliittiset päättäjät, viranomaiset ja niin edelleen ja niin edelleen.

Täydellinen lista olisi todella pitkä. Kaikkiaan Olkiluoto 3 -projektiin on osallistunut vuosien varrella kirjaimellisesti kymmeniä tuhansia ihmisiä. Jokainen heistä ansaitsee valtaisan ison kiitoksen.

Ja jos yhteen ynnättäisiin myös kaikki henkilöt, jotka ovat tukeneet OL3-projektia ja täten lo-
pulta mahdollistaneet tuotannon aloittamisen, luku olisi vieläkin isompi.

Haluan vielä sanoa, yhdessä ja erikseen, kaikille teille: Kiitos!

Ja jos se ei ole ollut selvää aiemmin, viimeistään OL3 Pure Energy -avajaisseremonia todistaa, että nyt työ on tehty. Ja me kaikki voimme yhdessä olla valtavan ylpeitä.

Sekin lienee selvää, että koko maailmassa ei ole monta voimalaitosta, jotka ovat herättäneet yhtä paljon tunteita kuin OL3. Tässä tarinassa draaman kaari on taatusti ollut läsnä.

Meille kaikille kuluviin vuosiin on mahtunut hyvin monia epävarmoja, sumuisia hetkiä, pettymyksiä, huippuja ja pohjia, mutta toisaalta myös puhdasta iloa, kun edistystä on saavutettu.

Tätä projektia on seurattu myös julkisuudessa. Eikä vain suurennuslasilla vaan pikeminkin mikroskoopilla. Pelkästään viimeisen käyttöönottovuoden aikana olemme olleet vaihtoehtoisesti joko koko maan energiakriisistä pelastava sankari, tai sitten se pahis, joka on pistänyt energiahanat kiinni juuri silloin, kun sähköä olisi eniten tarvittu.

Me kuulumme kaiken, mutta emme kuunnelleet kaikkea. Meidän tehtävämme oli alusta



asti kristallinkirkas. Meidän piti varmistaa, että juuri valmistunut voimalaitos toimii niin kuin oli suunniteltu. Tämän me teimme, järjestelmällisesti ja ammattitaitoisesti, pala palalta, venttiili venttiililtä, tarkastus tarkastukselta, testi testiltä ja megawatti megawatilta.

Nyt OL3 tuottaa puhdasta energiaa turvalisesti ja taloudellisesti. Seuraavien 60 vuoden aikana tuotamme paljon ilmastoystävällistä, vakaata sähköä ja luomme siten hyvinvointia Suomelle. Siis aina 2080-luvulle saakka.

Meitä on todellakin koeteltu, mutta missään vaiheessa en ole lopputulokseen pääsemistä epäillyt. Suurin syy tähän oli se, että ME olimme alusta lähtien ME.

Olkiluoto 3 on valmis.

Jarmo Tanhua

Toimitusjohtaja
Teollisuuden Voima Oyj
jarmo.tanhua@tvo.fi

We did it

THERE ARE GREAT DAYS and there are magnificent days. For me, 28th of September falls into the latter category. It was the day when the Olkiluoto 3 unit was officially inaugurated at Olkiluoto.

I quote from my speech at that Pure Energy ceremony to share the sentiments and thanks to all those involved in the field. I do not think I am alone in saying that it was certainly a memorable evening. A long and important project was given the culmination it deserves.

But then, my speech went something like this:

We have been tested, but personally I have never had any doubts.

Together we have built one of the largest power plants in the world, and in the process, we have achieved the greatest climate action in Finland and perhaps even in Europe. At the same time, we have also made Finland almost self-sufficient in electricity production.

Together with renewable energy, Finland has become a more attractive target for investments that need reliable and clean energy. Olkiluoto is now the largest electricity supplier in Finland, producing about 30% of electricity in Finland.

Olkiluoto 3 is such a colossal endeavour that the word WE can and must be emphasized. WE have managed to finalize the OL3 project together and each of us has certainly given their effort. The list of people to thank for this achievement is very long even if I open it only on the heading level:

Employees of TVO, AREVA, Siemens, all subcontractors, TVO shareholders, political decision makers, public officials, and so forth etc.

The complete list would be very long. Altogether, literally tens of thousands of

people have participated in the Olkiluoto 3 project over the years. Each and everyone deserve a big thank you. Moreover, if we summed up all persons who have supported the OL3 project and thus, enabled starting its electricity production, the figure would be even larger.

I wish to say once more, collectively and separately, to all of you: Thank you!

If it was not clear before, the OL3 Pure Energy ceremony proves that the job is now finished. And we all can be very proud.

It should also be clear that there are not many power plants in the world that have raised so many emotions as OL3. In this story, the arc of drama has definitely been present.

The past years have included many uncertain, hazy moments, disappointments, tops and bottoms, but on the other hand, also pure joy when progress has been achieved.

This project has also been followed in the public. And not just with a magnifying glass, but rather with a microscope. In the last year of commissioning alone, we have alternatively been either the hero who saved the whole country from the energy crisis, or the bad guy who turned off the energy taps just when electricity was most needed.

We heard everything, but we did not listen to everything. Our mission was crystal clear from the start. We had to make sure that the newly completed power plant works as planned. This we did, systematically and professionally, piece by piece, valve by valve, inspection by inspection, test by test, and megawatt by megawatt.

Now OL3 produces clean energy safely and economically. Over the next 60 years, we will produce a lot of climate-friendly, sta-

ble electricity and thus create prosperity for Finland. That is, until the 2080s.

We have indeed been tested, but at no point did I doubt that we would reach the finish line. The main reason for this was that WE were WE from the start.

Olkiluoto 3 is ready.

Jarmo Tanhua

CEO

Teollisuuden Voima Oyj

jarmo.tanhua@tvo.fi



Ruokailun jälkeen kokoonnuttiin ryhmäkuvaa varten Haikon kartanon päärakennuksen eteen (kuva: Riina Blomqvist).

ATS YG Summer Symposium 2023

ATS YG Summer Symposium järjestettiin tänä kesänä Porvoossa Haikon kartanolla 16. kesäkuuta. Järjestelyvastuussa oli Fortumin Loviisan voimalaitos. Tapahtumassa oli mukana noin 80 ydinvoimasta kiinnostunutta YG-sukupolven osallistujaa eri puolilta Suomea.

Teksti: Simo Kettunen



DI Simo Kettunen
Digitalisaatio- ja järjestelmäkehittäjä
Fortum
simo.x.kettunen@fortum.com

TAPAHTUMA JÄRJESTETTIIN aiemmilta vuosilta tutussa formaatissa. Puoliltapäivän käynnistetyt tapahtuman aloitti ydinvoimaan liittyvät luennot, mistä jatkettiin myöhäisen lounaan kautta leikkimieliseen kesäkisailuun ja lopulta verkostoitumiseen saunan ja virvokkeiden parissa.

Luennoissa kuultiin Fortumin ydinvoimatoiminnoista

Tilaisuus käynnistettiin Haikon kartanon konferenssikeskuksessa tapahtuman järjestäjän toimesta kertaamalla päivän ohjelma aikatauluineen, minkä jälkeen ääneen pääsi ATS YG:n puheenjohtaja Pekka Pihlanko esittelemään

ATS YG:n toimintaa. ATS YG:n esittelyn jälkeen päästiin kuuntelemaan ydinvoimaan liittyviä luentoja Fortumin asiantuntijoiden toimesta.

Ensimmäisenä Otso Manninen kertoi Fortumin ydinvoimapalveluliiketoiminnasta. Fortumin ulkoisen ydinvoimapalveluliiketoiminnan portfolioon kuuluvat muun muassa turvallisuussuunnittelu- ja lisensointikonsepti ADLAS, prosessisimulaatio-ohjelmisto APROS sekä radioaktiivisten nesteiden puhdistusteknologia NURES. Fortum tarjoaa konsultointipalveluja sekä kotimaassa että ulkomailla. Esimerkkeinä mainittiin osallistuminen suomalaisen F1R 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoistoon sekä asiantuntijapalveluiden tarjoaminen Puolaan.

Seuraavana Mika Harti kertoi Loviisan voimalaitoksen käyttöä jatkoon tähänneestä KLUPA2-projektista. Voimalaitoksen aiemat käyttöluvut olivat voimassa vuosiin 2027 (Loviisa 1) ja 2030 (Loviisa 2) asti, kunnes viime keväänä myönnettiin uudet käyttöluvut vuoteen 2050 asti kummallekin laitosyksikölle. Käyttölupien hakemisen yhteydessä suoritettiin myös määräaikainen turvallisuusarvio, minkä perusteella voimalaitos täyttää hyvin ny-

Mika Harti Fortumilta kertomassa KLUPA2-projektista (kuva: Simo Kettunen).



kyiset vaatimukset. Voimalaitoksen toiminnan jatkamisen myötä voimalaitos vaatii kuitenkin mittavat investoinnit ikääntyvien laitososien modernisointiin.

Lopuksi Hanna Tynys esitteli Fortumin ydinvoiman lisärakentamiseen liittyvää selvitystä. Selvityksessä tutkitaan kattavasti ydinvoiman lisärakentamisen mahdollisuuksia sekä Suomessa että Ruotsissa. Selvityksessä käsitellään muun muassa lisärakentamiseen soveltuvia teknologioita sisältäen niin pienet modulaariset reaktorit kuin myös suuremmat ydinvoimalaitokset sekä niiden lisensoitavuut-

ta ja laitospaikkoja. Mahdollisille laitostoimittajille on lähetetty informaatiopyynnöt, jotka sisältävät oleellisia kysymyksiä laitostoimittajien tarjoamista teknologioista.

Kisailua ja verkostoitumista aurinkoisessa kesäsäässä

Luentojen jälkeen siirryttiin lounaalle konferenssikeskuksen vieressä sijainneeseen Haikon kartanon päärakennukseen. 1910-luvulla suunniteltu päärakennus tarjosi upeat puitteet ruokailulle.

Myöhäisen lounaan jälkeen oltiin valmiita siirtymään leikkimieliseen rastikilpailuun kartanon päärakennuksen viereiselle puisto-alueelle. Helteinen sää suosi osallistujia tarjoten aurinkoisen ja lämpimän kesäpäivän kisailulle. Rastikilpailussa joukkueisiin arvotut osallistujat suorittivat tiimeittäin ydinvoimaan liittyviä rastitehtäviä. Tänä vuonna osallistujat pääsivät muun muassa sijoittamaan ydinvoimalaitoksia maailmankartalle sekä jäljittelemään polttoaine-elementtien siirtoa polttoaineenlatauskoneella.

Tiukan kisailun jälkeen siirryttiin saunarakennukselle, jossa suoritettiin pisteenlaskenta. Joukkueiden saamien pisteiden perusteella laskettiin pisteet myös organisaatioille. Voittajajoukkueen lisäksi palkittiin myös suurimmat pisteet kerännyt organisaatio, joka sai palkinnokseen kiertopalkintona toimivan pokaalin. Tämän vuoden kisailussa parhaat pisteet saavutti VTT ja sai sen myötä pokaalin haltuunsa seuraavaan Summer Symposiumiin asti. Palkintojen jaon jälkeen loppuillta vierähti saunomisen ja verkostoitumisen parissa ilta-palasta ja virvokkeista nauttien.



Kesäkisailun yhtenä rastitehtävänä oli osua neutroneilla CANDU-reaktorin polttoainesauvoihin (kuva: Niklas Hurmerinta).



*Aktiivisia osallistujia
käyttökokemuksista
oppineina (kuva:
Santeri Myllynen).*

Käyttökokemuksia ja onnettomuuksia ATS YG:n seminaariristeilyllä

ATS YG:n perinteinen seminaariristeily järjestettiin perjantaina 13.10.2023 M/S Viking Glorylla. Porista ja Helsingistä järjestettiin kuljetukset Turkuun, josta punaisella laivalla lähdettiin kohti Tukholmaa. Seminaariristeilyn aiheena oli ”Käyttökokemukset ja onnettomuudet – mitä niistä on opittu?” ja seminaarin sisällöstä vastasivat viisi kiinnostavaa ja loistavaa puhujaa.

Teksti: Jenna Järvenpää, Pekka Pihlanko, Santeri Myllynen



DI, FM Jenna Järvenpää

Research Scientist, – Nuclear Energy Solutions
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
jenna.jarvenpaa@vtt.fi



DI Pekka Pihlanko

Senior Expert – Nuclear and I&C
Platom Oy
pekka.pihlanko@platom.fi



DI Santeri Myllynen

Specialist, Project Planning
Fortum Power and Heat Oy
santeri.myllynen@fortum.com



Osallistava ryhmätyö jalostamo-onnettomuus-videon pohjalta synnytti vilkasta keskustelua (kuva: Jenna Järvenpää).



PERINTEIKÄS ATS YG:N jäsentapahtuma keräsi tänä vuonna lähes 40 osallistujaa eri ydinalan yrityksistä sekä tutkimusorganisaatioista. Seminaarin asiapi-toisesta ja ammatillisesta sisällöstä vastasivat viisi puhujaa: tutkimusprofessori Jaakko Leppänen VTT:ltä, kehityspäälliköt Petra Seppälä Fortumilta ja Petri Koistinen TVO:lta, pääsuunnittelija Miikka Jokelainen Fortumilta sekä projektipäällikkö Anna-Elina Pasi VTT:ltä.

Aiheita olivat kriittisyys-onnettomuuksien opit, käyttötapahtumien vaikutukset hätätilanneohjeiden kehitykseen, onnettomuus-skenaarioihin valmistautuminen operaattorin näkökulmasta sekä vakavat onnettomuudet ja fissiotuotteiden vapautuminen. Lisäksi järjestimme käyttökokemustoimintaan liittyen työpajan, joka pohjautui Texas Cityn jalostamo-räjähdyksestä kertovaan videoon. Seminaarin järjestelyt ja etenkin kahvitauot jokaisen esiintymisen jälkeen saivat kiitosta osallistujilta ja mahdollistivat vapaamuotoisen keskustelun ydinvoima-aiheista esitysten välissä.

Kriittisyys-onnettomuudet

Seminaarin ensimmäisen esityksen piti tutkimusprofessori Jaakko Leppänen VTT:ltä otsikolla kriittisyys-onnettomuudet. Esityksen pääpaino oli käsitellä kriittisyysturvallisuutta historiallisesta näkökulmasta ja asian taustoit-tamiseksi aluksi käytiin läpi ensimmäisten reaktoreiden rakentamista edeltänyttä modernin

fysiikan historiaa syvenyen muun muassa ensimmäisten kriittisyyskokeiden varsin turvatomaan suoritustapaan ja tästä seuranneisiin onnettomuuksiin. Esityksessä tuli oikaistua myös useampi yleinen harhaluulo, esimerkiksi että englannin kielen pikasulkua tarkoittava sana "scram" ei ole akronyymi sanoista Safety Control Rod Axe Man.

Historiaosuuden jälkeen siirryttiin tulevaisuuteen, sillä esitys huipentui VTT:n kehittämän kaukolämpöreaktorin LDR-50 kriittisyys-



turvallisuushaasteisiin ja -ratkaisuihin. LDR-50 muistuttaa painevesireaktoria siinä, että säätösauvat tulevat sydämeen yläpuolelta, mutta merkittävä ero painevesireaktoriin on kuitenkin se, että LDR-50:ssä jäähdytteessä ei ole normaalisti booria. Tällöin alikriittisyys polttoaineen vaihdon aikana on vain säätösauvojen varassa ja perinteisessä mallissa olisi teoriassa mahdollisuus saada reaktori kriittiseksi poistamalla säätösauvoja virheellisesti tai lataamalla säätösauvattomia nippuja väärään paikkaan.

LDR-50:ssä ratkaisuksi on kehitetty paineastian sisäpuolelle sijoitettava säätösauvakoneisto, joka on integroitu omaksi polttoainennippuun kiinnitettäväksi moduuliksi. Polttoaineen siirtokoneella ei voi irrottaa säätösauvakoneistoa, joten säätösauvat pysyvät sisällä aina kun nippu on ketjureaktiota ylläpitävässä geometriassa. Tähän liittyvä patenttihakemus on julkaistu elokuussa ja seminaari oli ensimmäinen julkinen tilaisuus, jossa esiteltiin kuvaa tästä.

Hätätilanneohjeiden kehitys

Toisena esityksenä Loviisan käyttöyksikössä kehityspäällikkönä työskentelevä Petra Seppälä kertoi käyttötapahtumien vaikutuksista

LDR-50 -kaukolämpöreaktorin polttoainennippu ja säätösauvamoduuli oikeassa mittaluokassa (kuva: VTT).

ta hätätilanneohjeiden kehitykseen. Opimme yleisesti hätä- ja häiriötilanneohjeista, ohjeiden kehitysprosessista ja viimeisenä käytännön esimerkkinä miten Loviisa 1:llä havaittu pääkiertopumpun tiivistevesilinjan vuoto tiiveyskokeen aikana vaikutti häiriönselvitys- ja ylösajo-ohjeiden kehitykseen.

Opimme, että hätätilanteissa käytetään normaalien järjestelmien sijaan turvallisuusjärjestelmiä. Hätätilanne- ja häiriönselvitysohjeiden avulla laitos ajetaan turvalliseen tilaan, huolehditaan ydinturvallisuudesta, varmistetaan sekä turvallisuustoiminnot että henkilöstön turvallisuus, ja minimoidaan taloudelliset vahingot. Ohjeet, joilla kiinnitetään toimenpiteiden järjestys ja ajoitus, tukevat laitoksen operaattoreita stressaavissa ja yllättävissä poikkeustilanteissa ohjaamalla heidän toimintaansa. Näin kyetään muun muassa varautumaan paremmin onnettomuustilanteen kehittymiseen.

Ohjeita käytetään osana onnettomuuden hallintaa, jossa ensimmäisenä pyritään ennaltaehkäisemään häiriöitä tai onnettomuuksia. Tämän jälkeen pyritään hallitsemaan häiriö- ja onnettomuustilanteita, mutta jos moninkertaiset turvallisuusjärjestelmät pettävät niin sitten pyritään rajoittamaan päästöjä vakavassa onnettomuudessa. Viimeinen keino on lieventää seurauksia, mikäli painetta kestävä suojarakennus vuotaisi.

Hätä- ja häiriötilanneohjeita päivitetään jatkuvasti esimerkiksi oman ja muiden laitosten käyttökokemusten, uusien viranomaisvaatimusten, tehtyjen analyysien ja laitosmuutosten mukaisesti. Uusi ohje laaditaan, kun voimalaitoksen toimintaan kohdistuu uusia vaatimuksia, ohjeistojärjestelmää kehitetään tai on ohjeistettava uusia toimintoja. Hätätilanneohjeen kehitysprosessi on monivaiheinen, jossa luonnoksen laatimisen jälkeen

sitä testataan sekä analyysiohjelmalla että simulaattorilla, ja tehdään lukutarkastus. Ohje validoidaan simulaattorilla ajamalla ohjeessa kuvattu hätä- tai häiriötilanne ja varmistamalla, että ohjeella saadaan laitos vietyä turvalliseen tilaan. Validointiin kuuluu myös valvomossa tehtävä läpiluku ja vertailu laitokseen.

Mikäli häiriönselvitysohje on ollut käytössä käyttötapahtumassa, vuorossa olleita operaattoreita haastatellaan, käydään läpi käyttötapahtuma ja vuoron toiminta, huomioidaan kommentit ja tehdään tarvittaessa muutoksia ohjeisiin. Näin meneteltiin myös pääkiertopumpun tiivistevesilinjan tapauksessa, jossa päädyttiin päivittämään ylösajo- ja soveltuva häiriönselvitysohjetta.

Käyttökokemustoiminnan opit

Pelkkien luentojen lisäksi seminaariin kuului käyttökokemustoiminnan työpaja, jonka piti kehityspäällikkö Petri Koistinen TVO:lta. Työpajan aluksi pohjustettiin mitä käyttökokemustoiminta on ja miten siihen oleellisesti liittyvää tapahtumatutkintaa tehdään. Yksinkertaisimmillaan tapahtumatutkinnassa haetaan vastauksia kolmeen kysymykseen: mitä?, miksi? ja miten? Kysymyksiin ei siis kuulu kuka?, joka monia kuitenkin saattaisi kiinnostaa.

Näillä opeilla pohjustettuna katsoimme läpi videon öljynjalostamolla tapahtuneesta onnettomuudesta ja pohdimme mitä voimme oppia siitä ja miten oppien pohjalta voisimme antaa suosituksia minkä tahansa toiminnan arviointiin tai kehittämiseen. Tämän jälkeen esityksessä palattiin vielä organisaatioiden kykyyn ja haluun hyödyntää ulkoisia käyttökokemuksia. On helppo sivuuttaa ulkoisia käyttökokemuksia toteamalla esimerkiksi, että ne eivät koske meitä, koska ne ovat eri alalta, mutta todelli-

suudessa päällisin puolin hyvinkin erilaisista käyttökokemuksista voidaan ottaa opiksi.

Toisaalta omia tapahtumia ei välttämättä tunnusteta sellaisiksi käyttökokemuksiksi, että niitä jaettaisiin muille. Käyttökokemustoiminnassa määrä ei kuitenkaan korvaa laatua, eli jaettavien käyttökokemusten pohjalla tulee olla laadukkaasti tutkittu ja raportoitu tapahtuma, jotta tapahtumasta voidaan oikeasti ottaa opiksi.

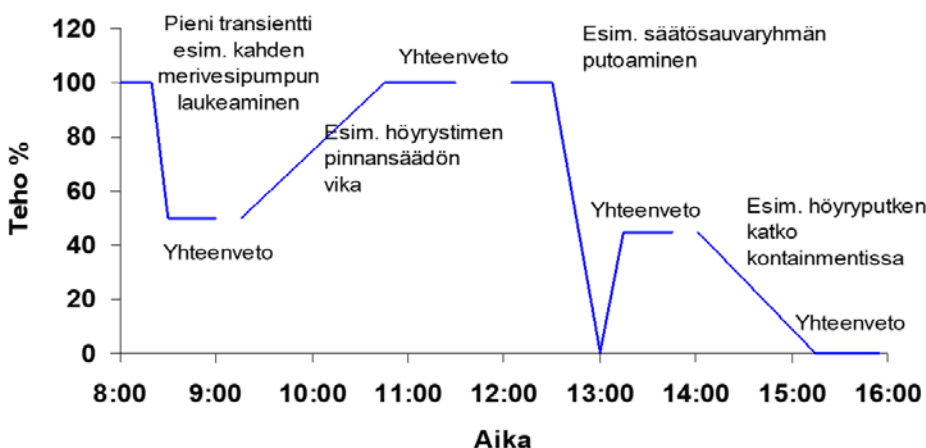
Operaattorin näkökulma

Fortumin prosessisimulointiryhmässä pääsuunnittelijana työskentelevä Miikka Jokelainen kertoi onnettomuusskenaarioista ja miten niihin valmistaudutaan operaattorin näkökulmasta. Miikan esityksen pohjana oli koulutussimulaattori ja miten sillä koulutetaan operaattoreita toimimaan jokaisessa kuvitellussa tilanteessa.

Opimme, että koulutussimulaattori vastaa voimalaitoksen päävalvomoa, mutta sillä ei ole yhteyttä voimalaitokseen, joten siellä voidaan turvallisesti harjoitella voimalaitoksen käyttöä totuudenmukaisessa ympäristössä. Päävalvomosta käytetään ja ohjataan voimalaitosta ja siellä on aina oltava vaadittu määrä lisensoituja operaattoreita. Operaattorit valvovat laitoksen tilaa prosessitietokoneen ja mittariston avulla sekä tekevät pääprosesseihin liittyvät säätö- ja ohjaustoimenpiteet. Automaatiikat ohjaavat normaalisti laitoksen prosesseja operaattorien asetuksien mukaisesti.

Miikka kertoi, että Loviisan voimalaitoksella on käytössä kaksi tunnistuslogiikkaa, yksi hätä- ja toinen häiriötilanteille. Logiikat otetaan käyttöön, kun sisäänmenokriteeri tulee voimaan esimerkiksi reaktorin pikasulun tapahtuessa. Vuokaaviomuotoiset tunnistuslogiikat ohjaavat käyttämään tilanteeseen sopivaa ohjetta. Koulutussimulaattorilla harjoitellaan toimimista häiriö- ja hätätilanteissa, jotka alkavat odottamattomien laitevikojen tai laitostapahtumien seurauksena. Tilanteet alkavat erilaisilla hälytyksillä, varalaitteiden käynnistyksillä ja suojalaukaisuilla edeten tehon rajoituksista pikasulkuihin.

Opimme, että operaattorilisenssi on voimassa enintään neljä vuotta kerrallaan ja sen ylläpitämiseksi on työskenneltävä vuorossa ja osallistuttava kertauskoulutuksiin. Tyypillinen 8-tuntinen kertauskoulutuspäivä, joka alkaa yleensä pienellä häiriöllä ja etenee kohti suurempaa häiriötä tai onnettomuutta, sisältää muutamia häiriö- ja hätätilanteita, joista jokaisesta selviämisen jälkeen pidetään yhteenveto simulaattorikouluttajan kanssa. Koulutuksen arviointikriteerit ovat prosessin valvonta, pro-



Tyypillinen kertauskoulutuspäivä Loviisan koulutussimulaattorilla (kuva: Fortum).



Säteilevät puhujat onnistuneen seminaarin jälkeen (kuva: Jenna Järvenpää).

sessin ohjaaminen ja laitostuntemus, turvallisuusajattelu, ohjeiston käyttö, yhteistyö ja kommunikointi sekä päätöksenteko ja tilanteen johtaminen.

Lopuksi kuulumme Loviisan voimalaitoksen suunnitelmista purkaa ja siirtää alkuperäinen vuodesta 1980 lähtien toiminut koulutussimulaattori viereiseen uuteen simulaattorirakennukseen, joka rakennettiin ja valmistui 2010 suuressa automaatiouudistushankkeessa. Tällä hetkellä uudella simulaattorilla, jota käytetään epäviralliseen koulutukseen, on virtuaalipaneelit ja -pulpetit. Uudempi simulaattori pohjautuu Fortumin ja VTT:n kehittämään Apros®-simulointialustaan, kun taas virallisessa koulutuskäytössä oleva alkuperäinen simulaattori pohjautuu VAX-simulointialustaan.

Simulaattoriin ja rakennukseen liittyvien päivitystarpeiden vuoksi muun muassa paneelit ja pulpetit on päätetty siirtää uuden simulaattorin tiloihin ja ottaa Apros®-pohjainen malli viralliseen koulutuskäyttöön. Apros®-mallin käyttäminen helpottaa voimalaitosmallin kehitystä ja mahdollistaa vakavien onnettomuuksien koulutuksen simulaattorilla. Esitys päättyi toteamukseen, että laitoksen turvallinen ja laadukas käyttö on kaikkien ryhmien ja jaoksien yhteisen työpanoksen summa.

Fissiotuotteiden leviäminen

Seminaaristeilyn viimeisen esityksen piti projektipäällikkö Anna-Elina Pasi, joka toimii VTT:llä tutkijana vakavien onnettomuuksien tutkimusryhmässä. Esityksen aiheena oli vaka-

vat onnettomuudet ja fissiotuotteiden vapautuminen. Göteborgissa telluurin kulkeutumisesta ja käyttäytymisestä ydinonnettomuuksissa väitellyt Anna-Elina alusti esitystään kertomalla lyhyesti vakavista ydinreaktorionnettomuuksista sekä onnettomuuksissa käytetyistä akronymeista, kuten SBO, SB/MB/LB-LOCA, RIA, RPV, ECCS, jotka eivät olleet kaikille tuttuja.

Opimme, kuinka tilanne ydinvoimalaitoksella voi kehittyä vakavaksi onnettomuudeksi ja miten sydämen sulaminen tai vaurioituminen riippuu muun muassa jäähdytteen ja höyryn määrästä. Radioaktiivisista aineista tuleva jälkilämpö pitää sydämen sulamista käynnissä ja sula valuu paineastian pohjalle. Pahimmillaan paineastia voi pettää ja sula voi valua suojarakennuksen pohjalle, jolloin uhkana on höyryräjähdys. Onneksi laitoksilla on useita eri hallintatoimenpiteitä vakavien onnettomuuksien varalle ja vakavat onnettomuudet ovat äärimmäisen harvinaisia.

Anna-Elina jatkoi esitystään kertomalla fissiotuotteiden kulkeutumisesta polttoaineessa ja kemiallisista ilmiöistä, jotka vaikuttavat fissiotuotteiden kulkeutumiseen jäähdytyspiirissä sekä vapautumiseen ympäristöön. Vapautumiseen vaikuttavat esimerkiksi pellettien olomuoto, fissiotuotteiden sekä rakennemateriaalien vuorovaikutukset suojakuoren kanssa, niiden kulkeutuminen jäähdytyspiirissä sekä kemialliset reaktiot että spesiaatiot (alkuaineiden fysikaaliskemialliset olomuodot) suojarakennuksessa.

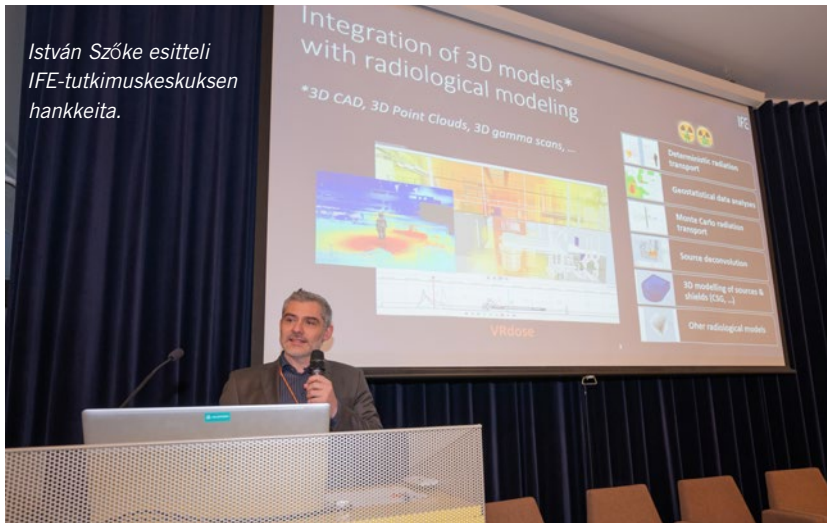
Esimerkkinä fissiotuotteiden vapautumisesta käytettiin Fukushima onnettomuut-

ta vuonna 2011. Lopuksi pääsimme vertailemaan Tšernobylin ja Fukushima päästöjä eri radionuklidien suhteen ja oppimaan uutta näiden onnettomuuksien terveysvaikutuksista sekä väestön psykologisista vaikutuksista, joita ei tulisi koskaan sivuuttaa.

Anna-Elina esitteli vielä VTT:n vakavien onnettomuuksien tutkimusta ja erilaisia kokeellisia tutkimusohjelmia (PHEBUS ja VERDON) sekä mallinnusohjelmia (MELCOR, ASTEC, MAAP), joilla voidaan mallintaa esimerkiksi aerosolien käyttäytymistä, lähdetermejä sekä riskejä. Vakavien onnettomuuksien tutkimusryhmässä tutkitaan muun muassa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden muodostumista sumpissa sekä suojarakennuksen kaasutilassa, jodin radiolyttistä hapettumista, telluurin kulkeutumista jäähdytyspiirissä sekä jodiyhdisteiden pidättymistä vesialtaisiin. Saatiinpa kuulla vielä Fukushima onnettomuuden paineastian sekä sydänsulan mallinnuksesta MELCOR:lla.

Yhteenveto

ATS YG:n perinteinen seminaaristeily Turusta M/S Viking Gloryllä Tukholmaan ja takaisin oli osallistujien palautteen perusteella menestys. Seminaarin tauotukset, kuljetukset Porista ja Helsingistä Turkuun, aikaisempi laivaan saapuminen ja pääsy suoraan aamupalalle sekä toimiva auditoriotila loivat edellytykset onnistuneelle tapahtumalle. Lisäksi Viking Linen ammattimainen asiakaspalvelu sekä laaja buffet-valikoima päivällisellä saivat kiitosta. Ainoastaan aikainen aamuhäätys ja -lähtö herättivät huolta osallistujissa, mutta erinomaisella ohjelmalla ja aktiivisella osallistumisella nekin huolet selätettiin. Toki väsymystä oli havaittavissa osallistujilla (myös lauantain paluukyydeissä, mutta siihen eivät järjestäjät ota kantaa.



István Szőke esitteli IFE-tutkimuskeskuksen hankkeita.

DigiDECOM 2023 -konferenssi

DigiDECOM 2023 -konferenssi järjestettiin Helsingissä 24.–26.10.2023. Konferenssin järjestivät VTT ja norjalainen Institute for Energy Technology (IFE) yhteistyössä FinNuclearin kanssa. DigiDecom-konferenssi järjestettiin nyt kuudetta kertaa. Konferenssisarja keskittyy erityisesti robotiikan, tekoälyn, virtuaalimallien ja muiden modernien menetelmien soveltamiseen liittyvään tutkimukseen ydinlaitosten käytöstäpoistossa.

Teksti: Antti Rätty, Olli Soppela, Maria Oksa **Kuvat:** Nancy Bellingan

DIGIDECOM-KONFERENSSI järjestettiin ensimmäisen kerran workshop-muotoisena vuonna 2017. Taustalla on Haldenin tutkimusreaktorilla jo 2000-luvun vaihteessa aloitettu ydinlaitosten käytöstäpoiston tutkimus. IFE on myös nimetty vuonna 2018 IAEA:n yhteistyökeskukseksi (collaboration centre) käytöstäpoiston digitaalisesta tiedonhallinnasta.

Konferenssin tausta Haldenin käytöstäpoistotutkimuksessa

Konferenssissa esiteltiin tutkimushankkeita ja kokemuksia eri käytöstäpoistohankkeista ja niistä sovelletuista moderneista digitaalisista menetelmistä, kuten robotiikka, koneoppiminen ja tekoälyn soveltaminen. Iso osa esityksistä liittyi aiheen ympärillä toimiviin Euratom-hankkeisiin, kuten esimerkiksi PLEIADES (<https://pleiades-platform.eu>) ja HARPERS (www.harpers-h2020.eu).

Kyseessä ei kuitenkaan ole pelkästään teknologiasta, vaan kehitystyössä huomioidaan inhimillinen ja yhteiskunnallinen näkökulma. Konferenssissa tuotiinkin esille esimerkiksi tietoturva, koulutus, jätehuoltoratkaisuiden sosiaalinen hyväksyttävyys sekä menetelmien laillisuudännöllinen soveltuvuus viranomaisohjeisiin.

Koronavuotia lukuun ottamatta konferenssit on järjestetty vuosittain Norjassa. Konferenssi järjestettiin ensimmäistä kertaa tänä vuonna Suomessa, koska VTT:llä on pitkä kokemus yhteistyöstä IFE:n kanssa aiheen parissa. Ehkä myös FIR 1 -tutkimusreaktorin käynnissä oleva käytöstäpoisto on voinut nostaa mielenkiintoa Suomea kohtaan.

Tänä vuonna konferenssiin osallistui noin 120 osallistujaa 16 eri maasta. Edustetut maat



FT Antti Rätty
Erikoistutkija
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
antti.ratty@vtt.fi



DI Olli Soppela
Tutkija
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
olli.soppela@vtt.fi



TkT Maria Oksa
Erikoistutkija
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
maria.oksa@vtt.fi

olivat Suomi, Norja, Espanja, Ranska, Iso-Britannia, Saksa, Slovakia, Ukraina, Belgia, Ruotsi, Sveitsi, Itävalta, Japani, Yhdysvallat, Kanada ja Senegal. Konferenssiin oli saatu myös korkean tason kansainvälisiä esityksiä IAEA:lta, EPRI:ltä ja OECD NEA:lta. Ne toivat tärkeän näkökulman yhteisistä haasteista, joiden hoitamisessa yhteistyö teknologisten ja digitaalisten ratkaisujen kehittämisessä on erittäin tärkeää.

Sessioissa robotiikka, virtuaalimalleja ja demonstraatioita

Esitykset oli jaettu teemoittain neljään sessioon: safety & security, tekoäly ja robotiikka, uudet teknologiat (BIM-mallit, virtuaalitodellisuus ym.) sekä Euratomin koulutuksen ja tutkimuksen verkostot.

Konferenssissa esitettiin viimeisimpiä suunnitelmia käytöstäpoistoprojektien aikatauluista, ohjeistusten päivityksistä ja toteuttavista konsortioista. Kaupalliset toimijat esittelivät saatavilla olevia ratkaisuja käytöstäpoistoprojektien nopeuttamiseksi sekä jakoivat käytännön kokemuksia käytöstäpoistohankkeista.

Kansainväliset kattojärjestöt esittelivät maiden välisen yhteistyön tuloksena syntyneitä hyvien käytäntöjen ja ohjeistusten kokoelmia, jotka ovat vapaasti jäsenmaiden käytettävissä. Koulutuksen kehittämisestä vastaavat organisaatiot kertoivat, kuinka tulevaisuuden osajatarpeisiin ollaan valmistautumassa koulutusohjelmien kehityksen kautta. Tutkimuslaitokset esittelivät käynnissä olevia tutkimushankkeita ja niiden taustoitusta.

Suomen osalta esiteltiin erityisesti FiR 1-tutkimusreaktorin käytöstäpoistohanketta ja

siinä yhteydessä toteutettua kehitysprojektia. Sammutuksen jälkeen reaktoria on käytetty demonstraatioalustana erilaisille uusien teknologioiden soveltamiselle, kuten esimerkiksi Swecon luoma BIM-malli säteilytyshuoneen rakenteista mittaustietojen ja jätehuollon kirjanpitoon sekä Fortumin teettämä kehityshanke seinien kontaminaatiomittausrobotista.

Koska useimmat teknologiat ovat vielä kehitysasteella, esittäjät kertoivat avoimesti myös keskeneräisistä ja vielä edessä olevista haasteista. Digitaalisissa menetelmissä isot kehitysaskleet voivat tulla yllättävänkin nopeasti joltain toiselta toimialalta ja tilanne voi olla jo muuttamassa vuodessa hyvin erilainen. Useimmista esityksistä riitti keskustelua pitkään vielä kahvitauoillakin.



Kahvitauoilla tutustuttiin näytteilleasettajien tarjontaan Paasitornin aulassa. Kuvassa Rosemary Lester (Createc) testaamassa Universal Robotsin kauko-ohjattavaa robottikäsivartta.

Näyttely, muu ohjelma, järjestelyt

Konferenssi järjestettiin Paasitornissa, jonka puitteet toimivat erinomaisesti. Konferenssin avajaispäivän iltana järjestetty illallinen nautittiin Meripaviljongissa Paasitornin välittömässä läheisyydessä.

Näyttelytilana toimi Paasitornin sisään-tuloaula, johon tapahtuman järjestäjät ja pääsponsorit VTT, IFE, Createc, WAI, Nuklearsenteret, Ingecid ja Amphos21 olivat asettaneet omat näyttelypöytänsä. Näyttelypöydät olivat vilkkaita neuvottelupaikkoja tapahtuman taukojen aikana, jolloin näytteille asettajat esittelivät konferenssivieraille tarjoamia ratkaisuja.

Konferenssin osallistujat ryhmäkuvassa.



ATS-jäsentilaisuus STUKissa 10.10.2023

Seuran jäsentapahtuma järjestettiin kauniina lokakuaisena syyspäivänä Säteilyturvakeskuksen uusissa tiloissa Vantaan Jokiniemessä, joka miljöönä on hyvin erilainen kuin vanha tuttu Helsingin Roihupelto. Noin 40 jäsentä oli saapunut paikan päälle Jokiniemeen ja lisäksi kymmenkunta osallistui tilaisuuteen verkon välityksellä.

Teksti: Jarmo Siivinen

ILTAPÄIVÄLLÄ ENNEN VARSINAISTA jäsentapahtumaa ja esityksiä oli halukkailla mahdollisuus tutustua STUKin uusiin laboratorioihin. Kierroksella kuultiin ensin STUKin tilanne- ja kenttämittausryhmän toiminnasta ja tutustuttiin kalustoon Antti Hannulan esitlemänä. Tavanomaisten säteily- ja pintakontaminaatiomittareiden ohella ryhmällä on käytössä muun muassa mittausautot ”Sonni” ja ”Härkä” sekä mittajailla käytössään selässä kulkevat ja reaaliajassa nukliditietoa STUKiin

välittävät gammamittauslaitteet eli ”Vasikka-reput”.

Tämän jälkeen Kaisa Vaaramaa esitteli uusia nuklidimittauslaboratorioita ja niiden toimintaa. Laboratorioiden redundanssi on varmistettu eriyttämällä toimintoja ja laitteita omiin erillisiin tiloihinsa esimerkiksi laiterikkojen ja kontaminaatiotapausten varalta. Vaaramaa kertoi, että muuttoon liittyvä uusien tilojen layout-suunnittelu ja itse muuton toteutus niin, että mittausvalmius säilytettiin koko ajan joko vanhoissa tiloissa Roihupellossa tai uusissa Jokiniemen tiloissa, oli hyvin merkittävä ponnistus koko laboratorion henkilöstön kannalta. Laboratoriolla on mittauskapasiteettia hyvin monentyyppisille näytteille, mukaan lukien radon, elintarvikkeet sekä ihmisperäiset näytteet.

Ennen varsinaista jäsentapahtumaa juotiin vielä kahvit ja nautittiin pientä suolaista ja makeaa sekä tietysti vaihdettiin kuulumisia ja ajatuksia vanhojen ja uusien tuttavuuksien kanssa.

Pääjohtajan alustus

STUKin pääjohtaja Petteri Tiippana avasi tilaisuuden ja toivotti ATS:n jäsenet tervetulleeksi tapahtumaan. Hän totesi alkuun arvostavansa ATS:n johtokunnan yhteydenpitoa STUKiin, jota joitakin yhdessä toteutettavia ja molempia

osapuolia hyödyttäviä toimintamuotoja saataisiin paremmin käyntiin. ATS:n jäsenistöhan evästi johtokuntaa viime kevään vuosikokouksessa rakentamaan ohuella tolalla olleita suhteita STUKin suuntaan. Pääjohtaja Tiippana piti tämän jälkeen oman alustuksensa, jossa oli koottuna yhteen ajankohtaisia asioita niin käyvien laitosten kuin uusien suunnitelmien, käytöstäpoiston ja lainsäädännön puolelta.

Käyvien laitosten osalta Tiippana mainitsi muun muassa uuden käytännön eli tehonsäädön isojen tehoreaktorien osalta. Perinteisesti niitä on ajettu aina täydellä teholla, mutta nyt tehoa on alettu rajoittaa esimerkiksi silloin, kun tuulisähköä on hyvin tarjolla. Tässä on kuitenkin omat haasteensa laitosten vanhenemisen kannalta, sillä vaihteleva teho aiheuttaa vaihtelevia rasituksia primääripiirin rakennemateriaaleille. Tästä voi siis ainakin periaatteessa aiheutua lisäongelmia jossain vaiheessa laitoksen käyttöä aikana.

Käyvien laitosten osalta tuore uutinen on myös TVO:n suunnitelmat OL1- ja OL2-laitosyksiköiden käyttöä pidentämiseksi ja tehon kasvattamiseksi. Käyttölupien uusimisen yhteydessä on siis tarkoitus hakea kymmenen vuoden pidennystä käyttöikään ja 80 MW lisäystä sähkötehoon. Posivan osalta jatketaan loppusijoituslaitoksen käyttöönoton valmistelua tiiviissä yhteistyössä STUKin kanssa.

Uusien suunnitelmien osalta julkisuudessa näkyvimpänä aiheena ovat tietenkin SMR-reaktorit, joita Suomessa kehitetään muun muassa LUT:n ja VTT:n toimesta. Niiden käyttäjiksi on ehdolla jo useampia tahoja, joiden kanssa on solmittu jo ainakin joitakin aiesopimuksia. VTT:n spinoff-yritys Steady Energy ja Helen ovat olleet jo yhteydessä STUKiin uudentyyppisiin kaukolämpöreaktoreihin liittyen. Uudenlaiset konseptit tietysti teettävät STUKille lisätyötä.

Lappeenrannan kaupungin, LUT:n ja yhdysvaltalaisen Ultra Safe Nuclear -yhtiön suunnitelmista on ollut myös keskustelua STUKin kanssa. Fortumin omat SMR-selvitykset ovat valmistumassa lähiaikoina, minkä jälkeen myös he lienevät STUKiin yhteydessä.

Myös kansainvälisellä ydinenergiakentällä on paljon tapahtumia, etenkin SMR-sektorilla. Pääjohtaja Tiippana mainitsi myös, että ensimmäistä kertaa kolme eri kansallista viranomais-ta arvioi samaa ranskalaista laitosdesignia ja hankkeessa on myös STUK mukana. Vastaava yhteisarviointi Rolls Roycen pienreaktorista on tiedossa tulevaisuudessa ja STUK on mukana tässäkin arvioinnissa.

Uusi ydinenergilaki saataneen valmiiksi vuoden 2026 loppuun mennessä. STUKin näkökulmasta aikataulu on tiukka, mutta siinä yritetään pysyä. Nykyinen lainsäädäntö, YVL-



Ins. (AMK) Jarmo Siivinen
Erikoistutkija
Teknologian tutkimuskeskus
VTT Oy / Ydinenergia
jarmo.siivinen@vtt.fi



Näkymä STUKin gamma-mittauslaboratorioon (kuva: Jarmo Siivinen).

ohjeet ja STUKin määräykset ovat sellaiset, että niitä on moneen kertaan matkan varrella muutettu ja nykyaikaistettu, mutta nyt on tarve kokonaisuudistukselle. TEM on vastuussa uudistuksen laki- ja asetustasoista, STUK operoi määräystasolla.

Viranomaisviestintä ydinvoimasta

Tilaisuuden ohjelmassa alun perin ollut TVO:n ja Posivan katsaus jäi esitelmöitsijöiden esteen takia tällä kertaa pitämättä. Tämän tilalla

Säteilyturvakeskuksen viestintäpäälikkö Piia Kaijanto piti niin mielenkiintoisen esityksen aiheesta ”Viranomaisviestintä ydinvoimasta”, että yleisö täytti kysymyksillään ja kommentaillaan tilaisuudelle varatun ajan lähes kokonaan.

Kaijannon esityksessä käsiteltiin viestintän toimintaympäristön muutosta yleisesti ja sitä, miten se vaikuttaa ydinvoimaviestintään. Merkittävänä muutostekijänä Kaijanto mainitsi muun muassa:

- sosiaalisen median,

- median käytön ja tavan tulkita informaatiota,
- moninaiset kohderyhmät ja yhteiskunnan polarisoitumisen,
- nopeutuneen julkaisurytmin,
- tarpeen monikanavaiselle viestinnälle,
- tekoälyn mukanaan tuomat vaikutukset ja mahdollisuudet,
- verkossa leviävien mielipiteiden ja uskomusten vaikutuksen viranomaisviestinnälle,
- vihamielisten toimijoiden pyrkimykset sekä
- koko viestintäkentän muutokset ja kehityksen.

Kokonaisuutena nämä edellä mainitut seikat ja muutokset siis edellyttävät viestinnän ammattilaisilta kykyä jatkuvaan uudistumiseen ja osaamisen ylläpitämiseen.

Viranomaisviestinnän erityisvaatimukseksi Kaijanto toi esiin luottamuksen tärkeyden. Kansalaisten on voitava luottaa STUKin viestintään ydinvoima- ja säteilyturvallisuusasioissa, ja luottamus on tärkeää myös sääntelytoiminnassa ja kansainvälisessä yhteistyössä. Luottamuksen rakentamisen osalta STUKin viisi perusparia ovat:

1. Riippumattomuus ja objektiivisuus,
2. Asiantuntevuus ja uskottavuus,
3. Avoimuus ja läpinäkyvyys,
4. Rehellisyys ja puolueettomuus sekä
5. Oikeudenmukaisuus ja sitoutuneisuus.



Pääjohtaja Petteri Tiippa kertasi ydinalan ajankohtaisia asioita (kuva: Antti Snicker).

TAPAHTUMAT

Viestinnän haasteista nostettiin esiin erityisesti seuraavat:

- Tiedonkulku ja siitä muodostuva yhteinen tilannekuva,
- Viestinnän nopeus,
- Monikanavaisuus ja -kielisyyys,
- Kansalaisten luottamus viranomaisiin,
- Terminologia ja käsitteet,
- Informaatiovaikuttaminen sekä
- Viestinnän ja organisaation resilienssi.

Viestinnän tavoitteena on kansalaisten turvallisuuden tunne, johon liittyy Kaijanto kävi läpi case-esimerkkejä maailmalta ja sitä, miten ne heijastuivat ja näkyivät esimerkiksi kansalaisten STUKille tekemissä yhteydenotoissa:

- Case Australian hävinnyt säteilylähde: Voiko näin käydä Suomessa?
- Case Olkiluodon tritiumhavainnot: Aiheutuuko vaaraa ihmisille tai ympäristölle?
- Case Tšernobylin valtaus & Zaporizzjan voimalaitos: Aiheutuuko vaaraa ihmisille tai ympäristölle?
- Case radioaktiivinen pilvi Euroopan

yllä: Aiheutuuko vaaraa ihmisille tai ympäristölle?

- Case tuoreen ydinpolttoaineen kautta kuljetus Lappeenrannan lentokentältä Keski-Eurooppaan: Aiheutuuko vaaraa ihmisille tai ympäristölle? Onko hyväksyttävää kuljettaa tuotetta polttoainetta Venäjältä Suomen kautta?

Loppuyhteenvetona Kaijanto totesi, että toimitteluksellisessa ja sosiaalisessa mediassa huomiota saavat ja kansalaisille päällimmäisenä huolena ovat aiheet ydinvoimasta, ydinaseista, ydinpolttoaineesta ja ydinjätteistä. Sen sijaan todelliset kansalaisia kohtaavat säteilyvaarat eli sisäilman radon ja auringon UV-säteily eivät saa mediassa klikkiotsikoita toisin kuin ydinasiat.

FiR 1:n käytöstäpoisto

Tilaisuuden viimeisen esityksen piti projektipäällikkö Markus Airila VTT:ltä aiheanaan FiR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoisto. Projekti etenee hyvällä vauhdilla yhteistyössä

Fortumin ja alihankkijoiden kanssa. Kyseessä on Suomen osalta pilottiprojekti, jonka kuudessa on otettu käyttöön uutta tekniikkaa ja opittu paljon uutta tulevien käytöstäpoistohankkeiden suunnittelussa ja toteutuksessa hyödynnettävissä olevaa. Edellisen esityksen aiheeseen liittyen Airila kertoi projektin aikana tulleen eteen muutaman tilanteen, joissa viestintää on jouduttu käyttämään.

STUKin toiveena oli tilaisuuden päättymisen ennen klo 18, joten Airila kävi esityksensä läpi vain muutaman tärkeimmän asian. Koska aihe on ajankohtainen ja saadun palautteen mukaan myös mielenkiintoinen, on aiheesta tiedossa pidempi ja perinpohjaisempi esitys jossain tulevista jäsentilaisuuksista. 🌐



Jäsentilaisuuteen osallistui noin 40 ATS-jäsentä paikan päällä (kuva: Antti Snicker).

ATS:n syysseminaari 9.11.2023

ATS:n perinteinen syysseminaari järjestettiin tällä kertaa Helsingin yliopiston päärakennuksen tiloissa Unioninkadulla. Seminaari kokosi yhteen luentoja ja illallisen merkeissä noin 110 ATS:n jäsentä. Tilaisuuden teemana olivat uudishankkeet, ja niiden lisäksi kuultiin ajankohtaiskatsauksia niin voimayhtiöiltä kuin työ- ja elinkeinoministeriöstä.

Teksti: Hanna Tynys, Olli Nevander, Jussi Peltonen **Kuvat:** Olli Nevander

SYYSSEMINAARIN AVASI puheenvuorollaan ATS:n puheenjohtaja Markus Airila, joka kiitti sponsoreita Fortumia ja TVO:ta tilaisuuden mahdollistamisesta. Markus kertasi lyhyesti ATS:n vuotta kertoen muun muassa STUKin ja ATS:n vuoropuhelun lisääntymisestä.

Alkusanojen jälkeen työ- ja elinkeinoministeriön teollisuusneuvos Juho Kortenieni puhui ydinvoiman roolin merkittävydestä suomalaisessa yhteiskunnassa, kehuen alan vahvaa tiimipeliä. Ydinenergia on tuotantomäärältään suurin ja asennetun kapasiteetin osalta toiseksi suurin sähköntuotantomuoto,

ja puupolttoaineiden jälkeen toisena myös konaisenergiakulutuksessa.

Ydinvoiman ennätyskorkean hyväksyttävyyden taustalla on nähtävissä sen merkittävä rooli ilmaston ja myös huoltovarmuuden näkökulmasta. SMR:t eli pienreaktorit ovat myös pinnalla niin teollisuuden kuin kaupunkien energia-yhtiöidenkin puheissa.

Ydinvoima jopa hallitusohjelmassa

Kortenieni huomautti myös, että ydinvoiman rooli nykyisessä hallitusohjelmassa on poikkeuksellinen. Usein ydinvoima ei ole päässyt



Teollisuusneuvos Juho Kortenieni puhuu seminaarissa.

lainkaan hallitusohjelmaan, ja nyt mukana on myös varsin yksityiskohtaisia linjauksia. Kirjauksissa halutaan muun muassa varmistaa nopea aikataulu ydinenergialain uudistukselle ja taata resurssit sekä TEM:ssä että STUKissa uudistuksia varten. Myös useissa EU:n jäsenmaissa näkyy uutta innostusta ydinvoiman rakentamiseen.

Tulevaisuudessa Kortenieni näkee tärkeäksi mahdollistaa SMR:ien nopean rakentamisen ja niiden tyyppihyväksynnän. Uuden laitoksen lupamenettelyä on tarkoitus muuttaa joustavammaksi. Tulevaisuudessa voitaisiin tarvita vain kevyt periaatepäätös, kun



DI Hanna Tynys
Expert
Fortum Power and Heat Oy
hanna.tynys@fortum.com



DI Olli Nevander
konsultti
Nucone Oy
olli480@hotmail.com



DI Jussi Peltonen
tutkija
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
sihteeri@ats-fns.fi

laitoskonseptille ja laitospaikalle on saatu hyväksyntä. Tämän lisäksi EU-sääntelyä tullaan tarkastelemaan enemmän tulevan komission kaudella, ja bilateraalista yhteistyötä keskeisten ydinvoimamaiden kanssa tullaan vahvistamaan.

Teollisuuden Voiman toimitusjohtaja Jarimo Tanhua iloitsi saadessaan viimein puhua käytössä olevasta Olkiluoto 3 -yksiköstä sen sijaan, että kertoisi, koska laitos ehkä valmistuu. Puheenvuorossaan Tanhua pohti EPR-laitosprojektien haasteita ja sitä, miten SMR-laitosten pitäisi tulevaisuudessa välttää joiltakin haasteilta, jos ydinvoima-alan säännöstöä saadaan harmonisoitua esimerkiksi EU-tasolla. Tanhua huomautti harmonisoinnin onnistuessaan tuovan hyötyjä myös isoille laitoksille. Tanhua kuitenkin muistutti SMR-laitoksenkin olevan ydinvoimalaitos ja kansallisen viranomaistoiminnan olevan yhä tärkeää.

Olkiluoto 3:n ensimmäisiä käyttökokeuksia

Olkiluoto 3:lla edetään kohti ensimmäistä vuosihuoltoa, jonka on määrä olla maaliskuussa 2024. Vuosihuollosta odotetaan mielenkiintoista ja siitä kertyvät käyttökokeukset tulevat olemaan kansainvälisestikin arvokkaita. Myös käyttöönottovaihe on ollut pitkä ja raskas, mutta samaan aikaan mahdollisuutena ”ihan unelmaa”. Oppeja on saatu ja kompetenssimielessä TVO ja koko Suomen ydinvoima-ala on saanut Olkiluodosta paljon.

Tanhua puhui myös markkinoiden suuresta muutoksesta Olkiluoto 3:n aloittamisen jälkeen. Sähkötalouden hintavaihtelut ovat

kasvaneet massiivisesti lisääntyneen tuulivoiman myötä ja tämä heijastuu myös perusvoimaan. Olkiluodossa yksiköt 1 ja 3 ovat säättäneet tehoa tänä vuonna sähkön tarpeen mukaan.

Säätötoimista huolimatta Olkiluoto 3 on tuotantomäärältään suurin voimalaitos vuonna 2023. Laitos on toiminut moitteetta ja maaliskuun kaupallisen tuotannon aloittamisen jälkeen laitoksella ei ole ollut tuotantokykyyn vaikuttaneita häiriöitä tai vikoja. Laitoksen suurin sähköteho on nyt rajoitettu verkon puolelta arvoon 1570 MW.

Tanhua korosti Olkiluodon merkitystä Suomen huoltovarmuudelle, ilmastotoimille ja ydintekniikan osaamisen säilyttämiselle: ”onnekseksi on Olkiluoto”. Vastatessaan kysymyksen rakentamisen viiveestä Tanhua painotti 40 vuoden aikaväliä Loviisan ja Olkiluodon ensimmäisten yksiköiden ja kolmosyksikön välillä. Käyttötoiminta osattiin, mutta rakentamista piti opetella uudestaan.

Fortum selvittää lisäydinvoiman edellytyksiä

Fortumin CNO-toimiston johtaja Matti Kattainen keskittyi esityksessään ydinvoiman kehitykseen Fortumilla. Yksi keskeisimmistä toimituksista on Loviisan voimalaitoksen käyttöön jatkaminen vuoteen 2050 asti ja long-term operation program LTOP. Fortumin investoinnit Loviisan laitoksen käyttöön säilyttämiseen nykyisen vuoteen 2050 ulottuvan lupajakson aikana ovat noin 1 miljardin euron verran.

Fortumin toinen merkittävä ydinvoiman kasvuprojekti on meneillään oleva kaksivuotinen selvitys lisäydinvoiman edellytyksistä.

Projektissa selvitetään lisäydinvoiman teknisiä ja kaupallisia edellytyksiä Suomessa ja Ruotsissa. Tämä sisältää laite- ja teknologien arvioinnin, kaupallisten toimintamallien selvittelyä, lisensointiin liittyvää alustavaa dialogia viranomaisten kanssa ja alustavia laitepaikkasijoitukseen liittyviä selvityksiä. Hän painotti ydinvoiman hyväksyttävyyden sekä Suomessa että Ruotsissa olevan korkealla tasolla ja korosti ydinvoiman tulevaisuudelle tärkeinä aiheina säännöstöuudistusta, markkinamekanismien kehittämistä ja hallitusohjelman tehokasta toimeenpanoa.

Posivan puolesta tilannekatsauksen yleisölle tarjoi tekninen päällikkö Petteri Vuorio. Vuorio kertoi meneillään olevasta kapselointilaitoksen käyttöönotosta, jossa 75 % järjestelmistä on saatu otetuksi käyttöön. Loppusijoituslaitoksen puolella taas ilmastointijärjestelmien käyttöönotto on meneillään. Vuorio kertoi myös tuotantoketjun teollistamisen olevan käynnissä. Raumalla on erilliset tuotantolaitokset loppusijoitustunneleiden täyttämiseen tarvittaville savikomponenteille ja kuparikapseleiden materiaali- ja NDT-tarkastukselle.

Posiva muuttuu käyttöorganisaatioksi

Ydinenergia-asetuksen mukainen käyttöluupa-aineisto toimitettiin vuoden 2021 lopussa ja vuonna 2023 on lähetetty vastaukset STUKin selvityspyyntöihin. STUK on arvioinut turvallisuusarvion valmistuvan vuoden 2024 aikana.

Vuorio painotti loppusijoituksen etenevän yhä lähes alkuperäisellä, vuonna 1983 hyväksytyllä aikataululla. Posivan prioriteeteina ovat loppusijoituksen aloitusvalmiuden saavuttaminen vuonna 2025, muutos projektiorganisaatiosta laitoksen käyttöorganisaatioksi ja loppusijoitusmallin edelleen kehittäminen sekä hankitun osaamisen ylläpito ja myynti.

Vuorio päätti esityksensä esittelemällä symbolisesti merkittävää Suomen hallituksen päätöstä. 10.11.2023 tuli täyteen 40 vuotta loppusijoituksen kannalta merkittävistä päätöksistä liittyen loppusijoituspaikan löytämiseen, rakennuslupa- ja käyttöönottoon. Asiakirjasta käy ilmi alustava aikataulu, joka on nykyhetkeenkin asti pitänyt varsin tarkasti.



Syysseminaarin yleisöä Helsingin yliopiston Pienessä juhlasalissa.

Matti Kattainen kuvaa Fortumin suunta-
viivoja.



Fuusiopanostusta Iso-Britanniassa ja Suomessa

Tilannekatsausten jälkeen siirryttiin teemaesityksiin, joista ensimmäisenä kuultiin etäyhteydellä pidetty Ian Chapmanin esitys Iso-Britannian fuusio-ohjelmasta. Laajan ohjelman tavoitteena on maailmanlaajuinen johtoasema fuusiokehityksessä. Mukana on laaja joukko osajia, yhtiöitä ja yliopistoja ympäri maata.

Chapman kuvasi eri osa-alueita, joita fuusiotutkimuksessa parhaillaan käsitellään, kuten materiaalitutkimusta ja laskentaa. Esityksen lopussa yleisö tiedusteli häneltä mahdollisesta kiinnostuksesta Suomen ja Iso-Britannian välisiin yhteistyökuvioihin fuusion saralla.

Seuraavaksi VTT:n Ville Tulkki kertoi LDR50-lämpöreaktorikonseptin kehittämisen ideasta konseptiksi. Lähtöajatuksena konseptikehityksen alussa oli vastata nimenomaan suomalaisen kaukolämpötuotannon tarpeeseen ja hyödyntää olemassa olevaa osaamista niin kehityksessä, laskennassa, työkaluissa, kuin laitoksen tuotannossakin. Kehitystyötä on jatkettu yhdessä partnereiden kanssa.

Tulkki kertoi myös VTT:n ja LUT-yliopiston selvityksestä,

jossa kaupunkien kaukolämpötuotantotarpeita kartoitettaessa esille nousivat erityisesti biomassan laajemman käytön hyväksyttävyyden epävarmuus tulevaisuudessa sekä kaupunkien energiayhtiöiden investointitarpeet 2030-luvulla. Konseptin pohjalta perustettiin Steady Energy erillisenä yrityksenään ja selvityksiä on käynnissä yhdessä muun muassa Helenin kanssa.

Viimeisenä puheenvuorona VTT:n tutkimusprofessori Tuomas Tala esitteli fuusioon liittyviä maailmanennätyksiä. Tala taustoitti lyhyesti fuusion historiaa: ensimmäiset fuusio-koneet kehitettiin 1950-luvulla ja matka siitä

tähän päivään on ollut pitkä ja edistys ei ole vastannut 50-luvun haaveita. Suomi on ollut mukana eurooppalaisessa fuusiotutkimuksessa EU:hun liittymisestä lähtien.

Tala keskittyi kuvaamaan 2020-luvun kehitystrendejä. Chapmanin esitykseen viitaten Tala kertoi vuonna 2022 saavutetusta energiantuotantoennätyksestä Britanniassa JET:llä (Joint European Torus). Lisäksi Tala kertoi vuoden 2022 ennätyksestä, jossa laserfuusiolla tuotettiin 54 % enemmän energiaa fuusiolla, kuin siihen käytettiin.

Fuusion tulevaisuudesta puhuttaessa Tala kertoi lyhyesti rakenteilla olevasta ITER:istä, jonka valmiusaste on noin 80 %. Isojen yhteishankkeiden lisäksi fuusiohankkeita viriää nyt myös yksityisten yritysten ja sijoittajien toimesta: fuusiokentällä on paljon innostusta, mihin myös TEM:n Kortenieniemi viittasi omassa puheenvuorossaan.

Suomessa fuusiotutkimusta tekevässä FinnFusion-konsortiossa ovat mukana VTT:n lisäksi myös yliopistoja (LUT, Aalto, TUNI, HY, ÅA) ja yrityksiä kuten Fortum. Hankkeen tärkeimpinä rahoittajina ovat Euroopan Unioni ja Business Finland.

Pekka Jauho -palkinto

Tilaisuuden lopussa jaettiin ATS:n vuosittain myöntämä Pekka Jauho -palkinto. Pekka Jauho -palkinto myönnetään ydintekniikan alalla tehdystä merkittävästä tiedonjulkistustyöstä, joka on lisännyt ydintekniikan ymmärrystä, parantanut yhteistyötä alalla ja antanut virikkeitä yhteiskunnalliselle keskustelulle.

Tänä vuonna johtokunta päätti palkita jäsenistöltä saatujen ehdotusten perusteella ATS Ydintekniikka -lehteä päätoimittajana merkittävästi uudistaneen Anna Korpisen. Uudistus käsitti lehden ulkoasun modernisoinnin sekä toimitusprosessin järjeistämisen. ATS Ydintekniikka on merkittävästi ulospäin näkyvä osa seuran toimintaa ja Korpisen kehityspanos on ollut poikkeuksellinen. Korpinen oli palkinnosta kiitollinen ja yllätynyt, sillä hän koki olleensa vain yksi lenkki lehden pitkässä historiassa ja toivoi, että nykyinen ja tulevat toimitukset jatkavat lehden kehittämistä.

Seminaaritalaisuuden jälkeen jäsenistöllä oli mahdollisuus verkostoitua ja vaihtaa kuulumisia illallisella.



ATS:n puheenjohtaja ja sihteeri jakoivat Pekka Jauho -palkinnon Anna Korpiselle.

Primäärijäähdytteen puhdistusjärjestelmän muutos

Loviisan voimalaitoksen alkuperäistä primäärijäähdytteen puhdistuskonseptia muutettiin 2019. Nyt neljän vuoden käyttökokemuksen jälkeen nähdään selvästi muutoksen vaikutukset.

Teksti: Sorella Buddas, Roger Kvarnström **Kuvat:** Roger Kvarnström

LOVIISAN VOIMALAITOKSEN primäärijäähdytettä puhdistetaan TC-järjestelmällä. TC-järjestelmä koostuu kationi- ja anionihartsia sisältävästä seka-suodattimesta (myöhemmin TC10-suodatin) sekä kationi- ja anionisuodattimesta (TC50-suodattimet). Suodattimet osallistuvat myös primäärijäähdytteen kalium- ja ammoniumtasapainon säätelyyn.

Lisäksi käytössä on TE-suodatusjärjestelmä, jolla puhdistetaan primääripiirin

uloslaskuvesiä sekä suoritetaan alkalointi-aineiden poistoa eräajoina, joissa kalium- ja ammoniumsuhdetta muutetaan riittävän vetypitoisuuden ylläpitämiseksi. Primäärijäähdytteen liuennut vety ylläpitää primääripiirissä pelkistävät olosuhteet, jolloin primääripiirin pintamateriaalina käytetyn austeniittisen ruostumattoman teräksen jännityskorroosion alkamisen todennäköisyys on alhainen. TE-suodatusjärjestelmää käytetään myös laitoksen alasajossa alkalointiaineiden

poistamiseksi ja primäärijäähdytteen puhdistamiseksi.

TC-järjestelmän muutostarpeet

Alkuperäinen konsepti primäärijäähdytteen puhdistamiseksi oli pitää kierrossa molemmat TC10- ja TC50-suodattimet tehokäytön aikana. Koska virtaus suodattimien läpi toimi pääkiertopumppujen paine-eron avulla, puhdistus ei ollut käytettävissä vuosihuollon aikana, kun pääkiertopumput oli pysäytetty. TE-suodatusjärjestelmää voitiin käyttää TC-järjestelmän pumpuilla aina 5 bar paineeseen asti (niin sanottu pehmeä dekontaminointi), mutta paineettomassa tilassa primääripiiriä ei pystytty puhdistamaan tälläkään järjestelmällä.

Vuosihuollon aikana primääripiirin vettä oli mahdollista puhdistaa latausaltaan puhdistusjärjestelmällä, mutta ainoastaan polttoaineen vaihtolatauksen aikana, kun latausaltaan ja reaktorialtaan välinen portti oli auki. Lisäksi vettä pystyttiin puhdistamaan mekaanisista epäpuhtauksista erillisellä laitteella, kun reaktoriallas oli auki.

Laitoksella oli kuitenkin tarve puhdistaa primääripiirin vettä ioninvaihtosuodattimilla



DI Sorella Buddas

Käyttökemian ryhmäpäällikkö
Fortum Power and Heat Oy
Loviisan voimalaitos
sorella.buddas@fortum.com



FM Roger Kvarnström

Erityisasiantuntija radiokemia
Fortum Power and Heat Oy
Loviisan voimalaitos
roger.kvarnstrom@fortum.com

sekä alasajossa vuosihuoltoon, seisokkitiloissa että ylösajossa. Tämä ei ollut mahdollista aikaisemmalla konseptilla. Etenkin hopea-nuklidin puhdistaminen ioninvaihtosuodattimeen onnistuu vain vuosihuollon aikana, kun hopea muuttuu kolloidisesta muodosta ioni-muotoon ja liukenee pinnoilta hapekkaissa olosuhteissa.

Aikaisempi ajotapa oli myös haasteellinen, koska TC-suodattimeen kertyneet aineet joidenkin aineiden osalta vapautuivat suodattimesta kyllästytyn aikana, kun kalium-ammonium-tasapaino optimoitiin seuraavaa sykliä varten. Erityisesti antimoni oli ongelmallinen aine, kuten polttoainevuototilanteissa myös cesium.

Hopea, antimoni ja cesium ovat voimakkaasti säteileviä pitkäikäisiä isotooppeja. Näiden aineiden puhdistaminen vuosihuollon aikana ja siten annosnopeuksien kasvun estäminen oli yksi tärkeimmistä TC-järjestelmän muutostarpeista.

TC-muutosprojekti

TC-järjestelmän muutoksien toteuttamiseksi perustettiin projekti. Projektin alkuvaiheis-

sa määritettiin muutoksen hyötytavoitteet. Vesikemian ohjaus ja suodattimien käyttö suunniteltiin tarkkaan etukäteen, koska suodattimet eivät toimi vain epäpuhtauksien puhdistajana vaan niillä säädetään primääripiirin kalium- ja ammoniumtasapainoa.

Alkalointiaineilla (kalium ja ammonium) on vaikutusta primääripiirin korkealämpötila-pH-arvoon (pHT-arvo). Valitulla pHT-alueella primääripiirin materiaalien korroosio ja korroosiotuotteiden kerrostuminen reaktoriin ovat minimissä.

Primäärijäähdytteen suodatuksen mahdollistamiseksi seisokkitiloissa tarvittiin lisää putkistoa, venttiilejä ja pumppu. Käyttöolosuhteet ovat sellaiset, ettei erillistä jäähdytysjärjestelmää tarvita magneettivetoiselle pumpulle. Lisäjärjestelmän suunnitteli laitoksen oma suunnitteluorganisaatio. Toteutustyöt valmistuivat vuoden 2019 vuosihuolloissa. Järjestelmä otettiin käyttöön molemmilla laitosyksiköillä vuoden 2019 ylösajoissa.

Uusi TC70-järjestelmä

Muutoksen myötä TC-puhdistusjärjestelmän käyttö muutettiin sellaiseksi, että vain TC10-

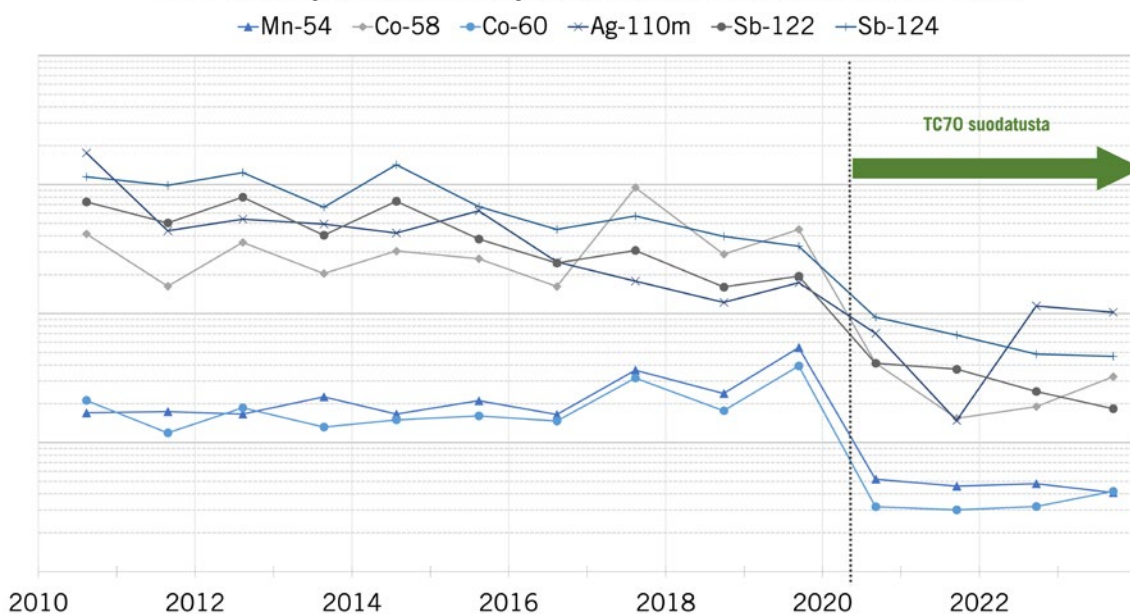
suodatinta käytetään käynnin aikana, jolloin TC50-suodattimet ovat erotettuina. Laitoksen alasajossa otetaan täysillä parametreillä TC50-suodattimet käyttöön poistamaan alkalointi-aineet. Kun pääkiertopumput pysäytetään alasajossa, TC10-suodatin erotetaan ja käynnistetään uuden TC70-järjestelmän pumppu, jonka avulla TC50-suodattimella voidaan jatkaa suodatusta.

Tehokäytön aikainen puhdistusjärjestelmä-kapasiteetti väheni kolmesta kuutiosta yhteen kuutioon. Tämä on näkynyt hieman korkeampina tehokäytön aikaisina aktiivisuuspitoisuuksina. Hieman korkeammilla aktiivisuuspitoisuuksilla ei ole kuitenkaan käytännön merkitystä. TC50-suodattimet ovat käyttöön otettavissa TC10-suodattimen rinnalle, jos niiden käyttö nähdään tarpeelliseksi esimerkiksi polttoainevuototilanteissa.

Hartsien käytön vähentyminen on vähentänyt hartsienvaihtotarvetta ja sitä myöden aktiivisen hartsijätteen määrää ja sen käsittelytarvetta.

Myös prosessi stabiloituu nopeammin kemian ja primääripiirin materiaalien kannalta, koska kationihartsia on vain kolmannes käytössä tehokäytön aikana. Hartsin muuttami-

L01 Primääripiirin aktiivisuuspitoisuudet latauksen aikana 2010–2023



Latauksen aikana primääripiirin aktiivisuudet ovat pienimmillään, koska lataukseen tarvittava pinnankorkeus johtaa piirin laimennukseen. TC70-järjestelmällä on pystytty edelleen pienentämään tasoja merkittävästi.

AJANKOHTAISTA

nen vetymuodosta ammonium- ja kaliummuotoon tapahtuu nopeammin nykyisellä 0,5 kuution hartsimäärällä aiemman 1,5 kuution sijaan. Tämä on myös vähentänyt kemikaalien tarvetta.

Muutoksen hyötytavoitteita

Suurin syy lähteä tekemään muutosta TC70-puhdistusjärjestelmään oli annosnopeuksien ja kontaminaation kasvun estäminen huolto- ja korjauksen aikana. Toteutuiko tämä sitten? Neljän vuoden käyttökokemuksen jälkeen voimme jo vastata myöntävästi.

Alasajossa primääripiirin vettä on puhdistettu läpi alasajon, jotta säteilytasot saadaan mahdollisimman alas vuosihuollon töitä ja niistä saatavia annoksia ajatellen. Aktiivisuus ei kuitenkaan pysy samana läpi vuosihuollon eli tasot eivät jää siihen, mitä ne puhdistuksen päätyttyä ovat. Esimerkiksi hopeanuklidit liukenee hapen vaikutuksesta. Kannennostoprosessin yhteydessä reaktoriin pääsee happea, ja hopeanuklidin pitoisuus nousee. Hopea on yksi merkittävistä annoksia aiheuttavista nuklideista antimonin ja koboltin ohella.

TC70-kierrolla ionimuodossa oleva hopea saadaan sidottua TC50-hartseihin. Myös antimoni suodattuu hyvin alle 80 °C:ssa. Nämä nuklidit jäävät siis prosessin ulkopuolelle ylösajovaiheessa ja poistuvat hartsin vaihtojen yhteydessä jätteisiin. Veden puhdistaminen on nopeuttanut reaktorikiulun pesuaikaa, koska primääripiirin materiaalit eivät ole vaikeasti kontaminoituneita. Myös puhdistustapaa on voitu keventää.

TC70-järjestelmän käyttöönoton jälkeen on nähty, että primäärijäähdytteen aktiivisuuspitoisuuden laskulla on ollut merkitystä lataukseen osallistuvien henkilöiden saamiin annoksiin.

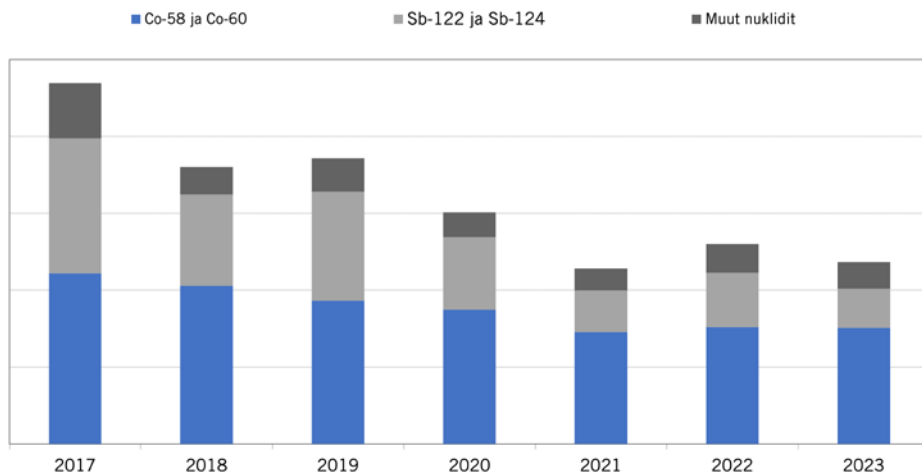
Kun puhdistuskierto on lopetettu alasajossa, prosessista liukenee edelleen metalleja piiriin, ja ne nostavat säteilytasoja. Kun TC70-kierto pystytään käynnistämään heti pääkiertopumppujen pysäytyksen jälkeen, metallien liukenemisesta aiheutuneet nousut ovat poistuneet ja annokset ovat vähentyneet useita prosentteja vuosi vuodelta.

Jatkuva suodatus myös ylösajossa on vähentänyt polttoaineen pinnalle kiinnittyvien korroosiotuotteiden aktivoitumista seuraavan syklin aikana, jolloin vaikutetaan myös seuraavan vuosihuollon kontaminaatiotasoihin. Tämä voidaan todeta vuosihuollon aikana tehdyistä kontaminaatiomittauksista.

Yhteenveto

TC70-järjestelmä sisältää TC70-pumpun, erotusventtiileitä ja putkistoa. TC70-järjestelmällä

L01 YA11 haaran keskiarvoannosnopeudet laskettu kontaminaatiopitoisuuksista



Dominoivien annosta aiheuttavien nuklidien vaikutukset annosnopeuksiin L01 YA11-haarassa. Varsinkin antimonien (Sb) vaikutus on pienentynyt strategian mukaisesti TC70-järjestelmän käyttöönoton jälkeen.

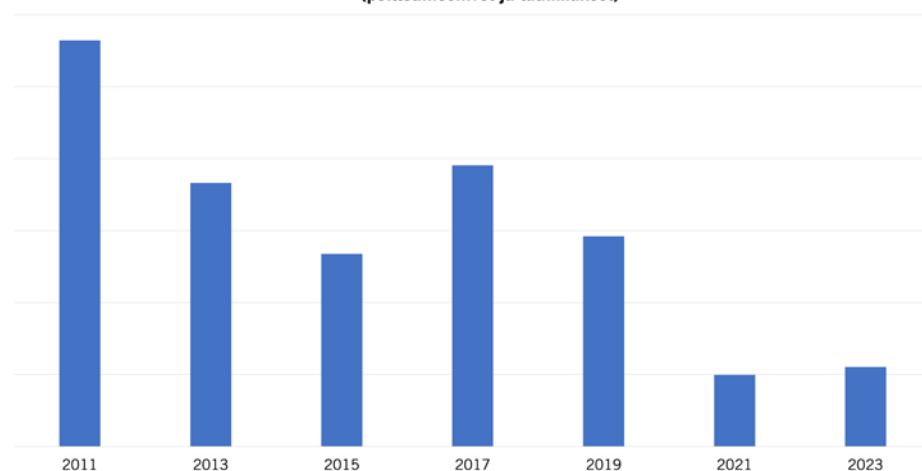
käytetään TC50-kationisuodatinta sekä TC50-anionisuodatinta vuosihuollon aikana. Ennen TC50-suodattimia käytettiin tehokäytön aikana yhdessä TC10-sekasuodattimen kanssa. Tehokäytön aikana on nykyisin käytössä vain TC10-suodatin.

TC-suodattimien muutostyö oli kokonaisuudessaan pitkä projekti, kun muutostöitä ja suodattimien käyttöä suunniteltiin sekä lopulta toteutettiin. TC70-järjestelmä oli käytössä molempien laitosten ylösajossa vuosi-

huollosta 2019 alkaen. Primäärijäähdytteen uusi puhdistuskonsepti on ollut käytössä neljä polttoainesykliä sekä neljä vuosihuoltoa.

TC70-järjestelmän hyötytavoitteet annosnopeuksien hallitsemisesta vuosihuollon aikaan ovat toteutuneet. Vuosihuollon aikaiset annosnopeudet ja primäärijäähdytteen aktiivisuustasot on madaltuneet ja primääripiirin pintojen kontaminaatiotasot ovat pienentyneet. TC-suodatusmuutoksella on ollut useita muitakin positiivisia oheisvaikutuksia. 

L01 Kollektiivinen annos lataushenkilökunnalle (polttoainesiirot ja tutkimukset)



Polttoainesiiroissa henkilöt istuvat noin 2 metrin päässä avoimesta veden pinnasta, jolloin vesiaktiivisuuksilla on oleellinen merkitys. TC70-järjestelmän myötä kertynyt annos on pienentynyt merkittävästi.

Päähaastateltava professori Akira Yamaguchi (kuva: NSRC).



Japanin ydinvoima murroksessa

Tokiossa on miellyttävä kevät, mutta haastatteluni professori Yamaguchin kanssa näyttää menevän mönkään typerästä syystä. Olen kiertänyt Nuclear Safety Research Centerin toimitalon jo pariin kertaan, mutta kaikki ulko-ovet ovat lukossa. Ovikello ei tuo ketään paikalle, eikä puhelimeen vastata. Ohikulkija ryhtyy avuksi ja etsii toimivan puhelinnumeron. Kohta ovelle tulee professori itse ja selittää talon tiukkoja turvallisuussääntöjä.

Teksti: Teuvo Peltoniemi

FUKUSHIMAN ONNETTOMUUDEN jälkeen ydinvoima ei ole ollut japanilaisten suosiossa. Ydinvoiman kannatus vaihtelee Japanin eri alueille ja jopa suurimmat sanomalehdet ovat jakautuneet ydinvoiman kannattajiin ja vastustajiin. Ehkä ilmastomuutoksen ja sähkön hinnan kohoamisen vuoksi väestön enemmistö on tänä vuonna kallistunut ydinvoiman puolelle.

Eniten kannattajia on sellaisilla alueilla, joissa suuri osa asukkaista saa niistä toimeentulonsa. Ydinenergia oli Fukushimaa jälkeä vuosia poliittisesti täydellinen tabu, ja vasta nyt siitä voidaan keskustella asiallisesti, toteaa professori Akira Yamaguchi, joka on Japanin tunnetuimpia ydinasiiantuntijoita.

Japanissa sähköä riitti kuitenkin ydinvoimaloiden sulkemisen jälkeenkin, kun kaikki fos-

siilista polttoainetta tuottavat laitokset käynnistettiin. Ydinvoiman alasajo onnistui, koska oli varaenergiaa, mutta nykyisin fossiilisten polttoaineiden hinta on niin korkealla, että energia-yhtiöt alkavat sulkea tappiollisia voimalaitoksia. Kriisitilanteissa Japanissa jouduttaisiin kenties rajoittamaan sähkön jakelua.

Ydinvoima on jatkossa kakkossijalla

Japanissa on avattu hiljattain muutamia suljettuna olleita ydinvoimalaitoksia, mutta Akira Yamaguchin mukaan läheskään kaikkia ei tulla käynnistämään. Monet pienemmistä ydinvoimalaitoksista eivät olisi enää kannattavia. Uusien turvallisuusmääräysten mukaiset muutokset maksaisivat liian paljon, eivätkä varsinkaan ulkomaiset omistajat halua sitoutua suuriin lisäinvestointeihin. Lisäksi pienet ydinvoimalat joutuisivat kilpailemaan uusiutuvaan energiaa tuottavien laitosten kanssa.

Hallituksen tavoitteena on, että ydinvoimalat tuottaisivat 20 % Japanin sähköstä vuonna 2030, mutta monet ennustavat osuuden jäävän paljon pienemmäksi. Ennen Fukushimaa ydinvoiman osuus sähkön tuotannosta oli noin 30 %.

Suunnitelmiin kuuluu myös uudenmallisia reaktoreita. Pienreaktoreita ei olisi helppo kytkeä nykyisiin sähköverkkoihin, ja niiden parhaiden sijaintipaikkojen lähellä on suuria kaupunkeja. Yamaguchin mukaan Japanin kannattaisi kuitenkin edistää niiden suunnittelua, sillä ainakin yksi pienreaktori olisi tarpeen pitämään Japanin ydinenergiateollisuutta ajan tasalla, ja

jatkossa niitä tarvitaan hiilineutraaliuden vahvistamiseksi.

Hallituksen linjauksen mukaan uusiutuvan energian osuus nousisi vuonna 2030 jo lähelle 40 %. Luku sisältää myös vesivoiman ja maalämmön. Uutta vesivoimaa Japaniin ei mahdu. Mahdolliset tuulivoimakohteet on kartoitettu ja niitä on löytynyt yllättävän paljon.

Fossiilista energiaa Venäjältä

Japani ei ole lähelläkään omavaraisuutta energiantuotannossa. 90 % energiasta hankitaan ulkomailta pitkäaikaisin sopimuksin fossiilisten polttoaineiden eli öljyn, kaasun ja hiilen muodossa. Arabimaiden lisäksi Japani ostaa edelleen suuren määrän kaasua ja öljyä Venäjältä. Japanilaisilla yrityksillä on Siperiassa yhteisprojekteja venäläisten kanssa ja niihin on tehty suuria investointeja.

Yamaguchi myöntää venäläisen energian tuonnin olevan Japanille hankala asia, mutta arvioi, että Japanin "pitää olla joustava ja ennustettava Venäjän suhteen, vaikka geopolittisissa suhteissa tapahtuisi muutoksia". Japanilaiset yritykset eivät voi lopettaa pitkäaikaisia sopimuksia. Saarivaltiona Japanilla ei ole mitään mahdollisuuksia ostaa siirtomaan sähköä maan ulkopuolelta.

"On erillinen asia noudattaa Putiniin kohdistettuja pakotteita ja toinen asia säilyttää Japanin sisäinen energiaomavaraisuus. Tosin uusi energiapolitiikkamme tulee helpottamaan energiantuotannon omavaraisuutta", Yamaguchi arvioi.

Japanilla ei ole loppusijoituspaikkaa korkea-aktiiviselle ydinjätteelle, vaan lähes 20 000 tonnia korkea-aktiivista ydinjätettä on varastoituna eri puolilla maata. Fukushimaa varastoidaan saastunutta maata vielä vuosikymmeniä Daiichin ydinvoimalan lähikunnissa.

Yamaguchin mielestä Japanin pitäisi tehdä päätöksiä loppusijoituspaikasta nopeasti, koska niiden rakentaminen vaatii useiden ministeriöiden ja paikallishallintojen yhteistyötä:



Valt. lis. Teuvo Peltoniemi

Päätoimittaja
Sosiomedia

teuvo.peltoniemi@kolumbus.fi



Fukushima Daiichissa 1066 tankkia odottaa veden mereen pääsyä (kuva: Tepco).



Artikkelin kirjoittaja Fukushima Daiichin laitosalueella vuonna 2015 (kuva: Tepco).

”Oppia pitäisi ottaa Suomesta, Ruotsista ja Ranskasta, joissa tässä asiassa ollaan pitemmälle kuin Japanissa.” Ulkomaalaiset ajattelevat loppusijoituksen olevan Japanissa mahdotonta, koska siellä on maanjäristyksiä ja tsunamieja. ”Silti Japanista löytyy alueita, jotka olisivat turvallisia ja jokaisen maan pitäisi itse vastata ydinjätteistään”, Yamaguchi painottaa.



Hiiltä upotetaan merenpohjaan Hokkaidossa (kuva: Teuvo Peltoniemi).

Hokkaido vihreän siirtymän eturintamassa

Hokkaidossa kaksi pientä kylää – 3000 asukkaan Suttu ja 800 asukkaan Kamoenai – ovat jo ilmoittuneet kiinnostuksensa loppusijoituspaikaksi. Hallitus haluaisi kuitenkin etsiä sopivia sijaintipaikkoja kaikkialta Japanista, eikä viedä kaikkea ydinjätettä Hokkaidoon. Päättökseen liittyy sekä poliittisia että talousnäkökulmia. Suomea monessa mielessä muistutava Hokkaido pyrkii ydinjätevarastojen lisäksi edelläkävijäksi myös vihreässä siirtymässä. Hokkaidossa kokeillaan jo hiilen sitomista merenpohjaan.

Runsastuulinen ja -luminen saari suunnittelee suuria tuulipuistoja, ja mieliä saada datakeskuksia ja muuta sähkösyöppöä teollisuutta Hokkaidolle. Mittavin sähkötarve olisi Rapiduksen suunnitteleamalla valtavalla puoli-johdotehtaalla, jonka taustalla ovat muun muassa Toyota ja telyhtiö NTT. Se vaatisi todennäköisesti myös saaren ydinvoimalaitoksen uudelleen käynnistystä.

Sähköä voitaisiin syöttää myös muualle Japaniin ja suunnitteilla onkin uusi merikapeli Honshun saarelle. Hokkaidon yliopiston apulaisprofessori Juha Saunavaara painottaa kuitenkin myös siirtohävikin minimoimisen tarvetta. Hänen mukaansa suunnitteilla olevien meri- ja maatuulipuistojen, aurinkovoimaloiden ja niitä tukevien biomassavoimaloiden

toteutuminen aiheuttaisi melkoisia haasteita saaren nykyisen sähköverkon kapasiteetille.

Sähköä Hokkaidossa on tosin tarjolla hyvin nytkin. Sen huomaa vaikkapa siitä, että Sapporon suurkaupunki, joka saa niskaansa ennätysmäärän lunta joka talvi, sulattaa osan lumesta vedeksi kaupungin sisällä sijaitsevassa laitoksessa. Moerenuma Parkissa on upea lasipalatsi, jota aurinko lämmittää talvella ja puistoon sataneen lumen varastot jäädyttävät kesäisin. Suomalaisten tyytyväisyydeksi saarella on myös paperiteollisuutta, jonne on voitu myydä koneita.

Vettä valtamereen

Tepcon Daiichin alueella on rakennettu onnettomuuden jälkeen tuhat valtavaa sylinteritankkia. Niihin on varastoitu radioaktiivista vettä, jota syntyi ydinreaktoreiden jäähdytysveden ja sadeveden sekoittumisesta pohjaveteen. Vesiongelman ratkaisussa myös Fortum oli alkuvaiheessa mukana Nures-järjestelmällä.

Radioaktiivisen veden keräys ja varastointi tuhanteen tankkiin maksaa yli 900 miljoonaa euroa vuodessa. Tankeissa olevaa vettä puhdistetaan suurin kustannuksin niin pitkäl-

le, että varastoidussa vedessä radioaktiivisuudesta on jäljellä enää mitätön määrä tritiumia.

Järjettömältä kuulostava megavarastointi syntyi siitä, että naapurivaltiot sekä japanilaiset vastustivat merijuoksutusta. Muille japanilaisille Fukushimaa kalat eivät ole kelvanneet, vaikka niissä ei ole jälkeäkään radioaktiivisuudesta. Japanilainen tiedotusmittaja Yuko Koide kertoo, kuinka satamarannassa Fukushimaa kalastajat puhisivat hänelle: ”Ongelma ei ole kaloissa vaan ostajien päässä”.

Vasta elokuussa 2023 aloitettiin puhdistetun ja laimennetun ALPS-veden laskeminen mereen hiljalleen 30 vuoden aikana kilometrin mittaisen tunnelin kautta. Kansainvälisen atomienergiajärjestön ja Japanin hallituksen mukaan mereen juoksutus tapahtuu hallitusti, täyttää kaikki turvallisuusstandardit ja on toteutettavin ja turvallis in vaihtoehto.

Pia Keski-Jaskari Säteilyturvakeskuksesta toteaa Ilta-Sanomissa, että sama määrä tritiumia olisi ajettu mereen myös ydinvoimalan normaalissa toiminnassa. Daiichista ”mereen laskettava tritiumin määrä on normaalisti toimivien ydinvoimalaitosten päästörajojen alapuolella”. Silti elokuussa 2023 Kiinan ulkoministeriö syytti uutistoimisto AFP:n mukaan Japania suunnitelmista ”laskea mielivaltaisesti ydinjättevettä” valtamereen. Etelä-Korea, Kiina ja Hong Kong aikoivat kiristää Japanista tuodun ruoan maahantuontia.

Japanin energiatilanne on vahvassa murroksessa. Ydinvoimaloihin palataan, mutta ykköstilalle energiatuotannon tavoitteissa ovat nousseet uudet päästöttömät menetelmät. Hiilen, öljyn ja kaasun käytön lopettaminen vienee kuitenkin kymmeniä vuosia. ☸

Tiedetoimittaja, valt. lis. Teuvo Peltoniemi koki vuoden 2011 katastrofin Tokiossa ja kävi 2015 Daiichin ydinvoimalassa kansainvälisellä pressimatkalla. Hänen uusin pressimatkinsa Fukushimaan ja Hokkaidolle alkoi symbolisesti Japanin suuren katastrofin 12-vuotismuistopäivänä. Matkaa tukivat Sasakawa, Terveystoimittajat sekä Japan Foreign Press Center.

I'd like to build and operate a fusion power plant— who will license it?

Markus Airila¹, Tomas Lindén²

¹VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, ²Helsinki Institute of Physics

Some countries like the USA and the UK have recently taken their position towards regulation of fusion power plants. Pressure to set up regulatory frameworks comes from political leaders and the industry, as several private companies have attracted sufficient funding to start building fusion prototypes and demonstration devices. Their investment decisions depend critically on the predictability of licensing, so these countries have launched ambitious fusion energy strategies and appropriate regulatory consultation processes to create a risk-appropriate regulatory environment. The EU is moving at a slower speed but following the developments closely. We summarize the status in these countries and speculate also how it would work in Finland – now, and later under the renewed Nuclear Energy Act.

Eräät maat kuten Yhdysvallat ja Iso-Britannia ovat viime aikoina muodostaneet kantansa fuusiovoimalaitosten sääntelyyn. Painetta sääntelykehityksen aikaansaamiseksi tulee niin poliitikoilta kuin teollisuudelta useiden yksityisten yhtiöiden saatua riittävästi rahoitusta fuusioprototyyppi- ja demolaitteiden rakentamiseksi. Teollisuuden investointipäätöksille kriittinen tekijä on luvituksen ennustettavuus, joten mainitut maat ovat asettaneet fuusioenergialle kunnianhimoiset strategiset tavoitteet ja pyrkivät luomaan pikavauhdilla oikeasuhtaisen sääntelykehityksen. EU etenee tässä ”kilpailussa” hitaammin, mutta seuraa tarkasti meneillään olevaa kehitystä. Esitämme yhteenvedon kansainvälisestä tilanteesta ja spekuloidemme myös, miten fuusion luvitus voisi toimia Suomessa – nyt ja myöhemmin uudistetun ydinenergialain alaisuudessa.

In modern societies, regulation is widely applied to keep potentially harmful activities under the society's control. For the readers of this journal, regulation of fission power plants is more than a familiar example. Regulation is needed to ensure that nuclear reactors are designed, constructed, and operated safely in all circumstances. Specifically, the criticality of the reactor shall be always under control, heat must be dissipated so that temperature limits are not exceeded, and radioactive elements confined under all reasonable conditions within the reactor containment. Additionally, regulation of nuclear energy extends, e.g., to security arrangements, proliferation control as well as to waste management.

Appropriate level of regulation for fusion

Producing energy with fusion reactions is clearly another activity that requires regulation, because it carries risks to people and the environ-

ment, mainly due to the production of ionizing radiation. Fusion is often advertised as a clean, safe, abundant, and environmentally friendly energy source that does not produce long-lived radioactive waste, which is all true. However, radiation safety and radioactive waste management of activated materials from fusion power plants are not trivial topics and require significant attention.

Fusion power plants (FPPs) will shut down due to any disturbance, will only have a small amount of energy in the plasma, lower decay heat compared to a fission reactor, and lesser proliferation risk [1]. The major need for fusion regulation is to safely contain and manage the tritium inventory and activated materials, including any potential dust generated inside the device's vacuum vessel. Fusion regulation should be at the appropriate level, avoiding under-, over- or misregulation because of these different safety characteristics of fusion compared to fission.

Ionizing radiation is an issue in fusion power plants mainly for two reasons: (i) It is most realistic to achieve controlled fusion using the deu-

Table 1. This table lists some of the major public fusion projects and some of the most advanced private fusion companies.

Organization and country	Device	Technology	Projected scientific breakeven year	Funding
ITER Organization (international / FR)	ITER	Tokamak	After 2035	Public
UK Government	STEP	Spherical tokamak	2040	Public
Helion Energy (USA)	Polaris	FRC, (D- ³ He reaction)	2024	577 MUSD
Zap Energy (USA)	FuZE-Q	Z-pinch	2024-2027	208 MUSD
Commonwealth Fusion Systems (USA)	SPARC	Tokamak	2026	>2000 MUSD
General Fusion (CA)	LM26	MTF	2026	> 300 MUSD
TAE Technology (USA)	Copernicus (2025)	FRC (p- ¹¹ B reaction)		> 1200 MUSD
Tokamak Energy (UK)	ST80-HTS (2026) STX (2028–2029)	Spherical tokamak		250 MUSD

terium-tritium (DT) reaction, which implies breeding, handling, transport, storage, and accounting of significant tritium inventories by any industrial or research standards^{1,2}. (ii) Neutrons are an unavoidable by-product of all fusion, causing activation to some of the materials interacting with the neutrons. Deuterium-deuterium (DD) fusion reactions will also create tritium as well as generate lower energy neutrons.

DT fusion is the most widely pursued fusion fuel cycle for experimental facilities in both the public sector (JET, NIF, ITER) as well as in the majority of the private companies' concepts. Still there is some interest to pursue other, less easily achievable fusion reactions, see, e.g., [2].

There are other fusion reactions (like $p + {}^{11}\text{B} \rightarrow 3\alpha$), which would avoid the use of tritium and the direct production of neutrons (though would produce neutrons and tritium through secondary reactions), but their reaction cross sections are significantly smaller, making the reaction probabilities low. The main point is that all fusion fuel cycles create ionizing radiation from operation which needs to be appropriately regulated.

Fusion also shares some non-radioactive risks with other industries. Special materials are needed like lithium, beryllium, lead and molten metals. There are risks related to electromagnetic systems like power supplies with high power and high voltage power systems, strong magnetic fields with large stored energy as well as heavy masses. Cryogenic systems also impose risks due to the gases involved.

Innovation-friendly regulation environment attracts companies

The private fusion industry is growing at a fast pace as can be seen from the report "The global fusion industry

in 2023" published by the Fusion Industry Association (FIA) in July 2023. Since the previous 2022 report the number of fusion companies has grown from 33 to 43 and the funding has increased by 1400 MUSD, so the activity in the field is clearly increasing. Some of these companies are striving to show scientific breakeven in the next few years and then later to build pilot plants, demonstrating fusion power production in the 2030s, see table 1. The increased optimism is backed up by some very promising enabling technologies like high-temperature superconductor (HTS) magnets, see figure 1.

For a relatively fast deployment of their next-generation demon-

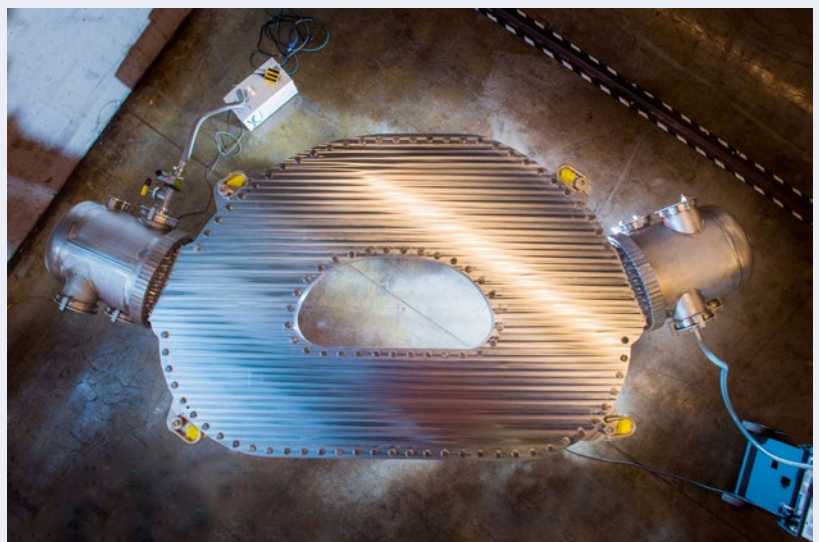


Figure 1. The Commonwealth Fusion Systems HTS 20 T magnet. Picture Gretchen Ertl, CFS/MIT-PSFC, 2021.

¹ CANDU fission reactors produce a fair amount of tritium and have separation technologies to remove tritium from the heavy water. First generation of fusion power plants will likely depend on this source of tritium to secure their initial inventory before breeding more fuel from lithium.

² It is likely that larger amounts of tritium are handled in military applications, but they are beyond civil licensing.

stration facilities, private fusion companies are looking internationally for sites located in countries where the licensing environment is innovation-friendly and risk-appropriate. Fusion companies seem to be very aware that they are operating in a regulated domain, but they try to avoid *excessive* regulation that does not account for fusion's actual hazards and could stifle the industry in its infancy. Their message to decision-makers is that over-regulating commercial fusion will create geopolitical disadvantage compared to countries that use a risk-appropriate regulatory framework. Private fusion industry companies expect a predictable regulatory framework and minimal political risk when applying for a license to produce fusion energy on the scale needed for commercial purposes. Essential characteristics of such a licensing framework are technology-neutral, goal-oriented, single-step licensing, and a non-political regulatory body granting the license.

Public endeavours

Spherical Tokamak for Energy Production (STEP) is a UK government funded project to build a 100 MWe spherical tokamak pilot project aiming to demonstrate net electricity production by 2040.

ITER is the world's largest tokamak, which is being built in Cadarache in Southern France by the seven member parties: China, the European Union, India, Japan, Russia, South Korea, and the United States with a design thermal power of 500 MW. ITER DT experiments are planned to start in 2035 according to the current official schedule, but the schedule is being revised and delays might occur due to issues with corrosion and the welding of the different sectors.

The EU's fusion energy strategy relies heavily on ITER and that it can deliver the necessary results for the construction and operation of the demonstration fusion power plant DEMO before 2045. More details on these companies and organizations can be found in references [4, 5].

Building a supply chain for the fusion industry

Industrial-scale deployment of fusion is not only dependent on the leading companies developing the power plant concepts but critically also on the whole supply chain. This concerns for instance several enabling technologies, materials, tritium and other fusion fuels, workforce as well as radioactive waste management services. Ultimately, the lead companies could also need large Engineering, Procurement and Construction (EPC) firms to understand how to build their technologies into functioning power plants.

Fusion Industry Association published in 2023 a report about opportunities and challenges of the fusion industry supply chain [6]. The report is based on a survey to the Association's member companies and gives a clear and concise summary of the present status and very steeply rising future projections of the volume of the industry – as the companies see it.

The report lists recommendations concerning investment, risk sharing mechanisms, building a global network of suppliers, taking benefit from other industries, standardization, and regulatory frameworks. Companies see regulatory frameworks as governments' tool to ensure public health and safety while at the same time supporting innovation. FIA has been advocating quite strongly for risk-appropriate regulation for fusion instead of simply adopting a legacy regulatory framework created for a higher-risk technology like fission. The imposition of a fission regulatory framework on fusion could be a showstopper for many potential supply-chain companies to enter the fusion industry.

Status of fusion power plant licensing globally

The U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) voted in April 2023 to regulate fusion energy using the same framework as particle accelerators and other materials-based technologies using the existing rules for byproduct materials in 10 Code of Federal Regulations (CFR) Part 30 [7]. This separates fusion energy regulation from fission energy regulation. The NRC has been given the task of amending their existing regulations through a limited public rulemaking process and specific implementing guidance. This work has started and the NRC has a goal of having a final proposed rule ready for public consideration in early 2025. The Nuclear Energy Innovation and Modernization Act (NEIMA) requires NRC to establish a technology inclusive regulatory framework for fusion energy systems by December 31, 2027.

The NRC has proposed a formulation for adding fusion systems in Part 30 and presented the draft preliminary proposed rule language in a public meeting in October 2023. Existing rules already contain requirements which will also apply to fusion systems. E.g., an applicant willing to commission and operate a fusion system shall present their arrangements for environmental protection, financial assurance and decommissioning funding plan, emergency preparedness, security, and transportation issues in the same way as for any other use of radiation within the existing framework. This is very well in line also with the Finnish Radiation Act. In addition, the operator of a fusion system will have to present a general description of the system and additional statements on operating and emergency procedures, organizational structure related to radiation safety, training, inspection, and maintenance, as well as material inventory.

The UK Government decided in 2022 that future fusion energy facilities will be regulated under the legal framework already in place for fusion demonstration devices. The regulators are the Environment Agency and the Health & Safety Executive rather than the Office for Nuclear Regulation which regulates fission reactors in the UK. Part of the Energy Act 2023 changes the Nuclear Installations Act 1965 so that it would not apply to fusion energy facilities [9]. The Energy Act 2023 became law on 26 October 2023.

In Canada, the Canadian Nuclear Safety Commission has published a review on the Regulatory Framework for Readiness to Regulate Fusion Technologies and plans to publish an additional paper describing options for regulating fusion in Canada within a year. In addition, the UK, Japan, and Canada published in October 2023 a joint statement and initial suggestions for a multi-national fusion regulatory framework [11]. The recommendations conclude that fusion should be regulated separately from fission and emphasise international harmonization, facilitating innovation, risk-awareness, and transparency.

The EU is approaching fusion licensing primarily from the perspective of the future power-plant scale facility DEMO, thus having a longer-term timeline to get a regulatory framework in place. Concerning the construction of ITER, the EU already has experiences and lessons learned from France available. ITER has been licensed as a *basic nuclear installation* under the French law and is therefore regulated by the nuclear regulator ASN. However, individual EU countries seem to be starting to take a fresh look at how to best regulate the significantly smaller fusion power plant designs the private sector is proposing as evident by the various EU regulator attendees at the IAEA Technical Meeting on Fusion Design Safety and Regulation in October 2023.

In 2021, the European Commission published a Study on the Applicability of the Regulatory Framework for Nuclear Facilities to Fusion Facilities, carried out by the German institutes GRS and KIT [12, 13]. In 2022-23, initiated by the EUROfusion consortium, a group

Table 2. This table lists some licensing scenarios that can be conceived by starting from the present Finnish legislative framework.

Licensing scenario	Regulatory body/bodies	Positive features	Deficiencies	Differences to present framework
Present framework – applying the Nuclear Energy Act:	(Several steps, see below)	The transparent and participatory Finnish regulatory framework has laid the foundation to high public trust and acceptance towards use of nuclear energy and radioactive waste management.	Highly political and multi-step, implies significant duration and risk for licensing a new type of facility for use.	None
(Decision in Principle if $P_{th} > 50$ MW)	(Government + Parliament)			
Construction license	Government			
Operating license	Government			
Decommissioning license	Government			
Apply Nuclear Energy Act but define fusion as other use of nuclear energy. License conditions are defined in Article 21 of Nuclear Energy Act	Government, Ministry of Economic Affairs and Employment, or STUK	Single-step and purely safety-based licensing.	Overall benefit for the society is not evaluated case-by-case. May it decrease public acceptance in the long term? Likely to need an upper limit in, e.g., in terms of radiological consequences in the worst-case accident scenario (limited mandate).	Amend the definition of nuclear facility to exclude fusion facilities (Article 3 of Nuclear Energy Act). Add operation of fusion facilities to Article 2 and define the licensing authority in Section 16.
Apply exclusively Radiation Act to fusion	STUK	Same as above.	Same as above.	Exclude fusion explicitly from the definition of nuclear energy.
Other approaches facilitated by the new Nuclear Energy Act	Complete renewal of the Nuclear Energy Act can bring major changes not only to licensing steps and authorities' roles but also the plant supplier / owner / operator responsibilities to facilitate new kinds of business model for fission power plants. Especially SMR licensing, plant standardization and goal-oriented safety evaluation have recently received much attention as a motivation for an urgent renewal. Finland's Government Program 2023 promises to complete the process by 2026. Can also fusion facilities be smoothly integrated in the new Act?			

of European experts were convened to produce a set of recommendations on the regulatory framework for the safety and licensing of FPPs [14]. These recommendations are primarily targeting the DEMO design representing larger FPPs than the current private industry designs. This difference in target setting seems to make Europe moving slower than the above-mentioned countries and is seemingly less aligned with the US and UK on their approach.

How could this be realized in Finland?

We authors have absolutely no legal qualifications but are speculating on the Finnish situation and potential options purely as pragmatic and voluntary Nuclear Energy Act enthusiasts.

In Finland, the present Nuclear Energy Act entered into force on 1 January 1988 and repealed the Atomic Energy Act from 1957. The term *nuclear energy* is not defined in the Act, but the objective of the Act is to keep the *use of nuclear energy* in line with the overall good of society. The government proposal to the parliament from 1985 explains in more detail the term *use of nuclear energy*. This background document mentions both fission and fusion as means to release nuclear energy for energy production or research, for instance. Therefore, it is unambiguous that presently in Finland, fusion facilities would be regulated under the Nuclear Energy Act. Consequently, they are also classified as *nuclear facilities*.

An obvious follow-up question is whether a fusion facility should also be defined as a *nuclear facility of considerable general significance* with the same criteria as a fission facility, e.g., if the thermal power exceeds 50 MW. This is currently the threshold that triggers the requirement for a Decision-in-Principle to be undertaken by the government and to be ultimately decided by the Parliament before the license applicant can proceed to the construction permit phase.

From a goal-oriented regulation perspective such a single and somewhat arbitrary limit for the thermal power would not be justified for fusion facilities as the underlying technologies and risks between fusion and fission are completely different. The power level of a fusion facility does not directly correlate with the total radioactive material inventory. Much of the tritium is immobilized on solid metal beds and activation products are immobilized inside of solid structural materials, neither of which are releasable in an accident scenario. This contrasts with a fission facility where the amount of special nuclear material in the core does directly correlate to power level and the expected dose to the off-site public in an accident scenario.

Therefore, utilizing a similar power metric for fusion does not make sense because it does not appropriately reflect the much lower risk that an equivalent power level fusion facility represents. Instead, the criteria that should inform an appropriate regulatory framework for fusion should ideally be based on more general safety goals that are commensurable across various technologies.

As we mention earlier in this article, the fusion industry is looking for innovation-friendly locations for their fusion pilot plants. If Finland would consider it important to attract this kind of utmost leading-edge technology companies (fusion power plant developers and their supply chain), it is necessary to consider whether the new Finnish Nuclear Energy Act could provide such an innovation-friendly framework. Many other prerequisites for nuclear-sector high-tech companies to settle in Finland are already at an extremely good level but regulation is critical for the fusion industry.

We describe above the US NRC's ongoing work to develop regulation for fusion. In Finland, the most direct analogue to the US solution would be that fusion facilities would be regulated under the Radiation Act. This would in practice mean that fusion energy would be explicitly excluded from the scope of application of the Nuclear Energy Act, and

some adaptation of the Radiation Act to account for the specificities of fusion with respect to other radiation facilities.

At least the licensing scenarios listed in table 2 can be conceived by starting from the present Finnish legislative framework.

Summary

We really recommend all players in the Finnish nuclear innovation and regulatory ecosystem to follow the rapid development that is going on

in the private-funded fusion industry especially in the UK and the USA. The governments in these countries have been able to respond quickly and start putting in place limited-scope regulatory frameworks that will guide the industry over the coming few years. When full-scale fusion power plants become topical, the experiences and lessons learned accumulated during this early phase will have to be carefully reviewed. Could also fusion facilities be smoothly integrated in the ongoing renewal of the Nuclear Energy Act to support the competitiveness of Finland as an investment destination?

References

- [1] M. Y. Hua et al., Non-proliferation and fusion power plants, arXiv:2207.14348, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.14348>.
- [2] Magee, R.M., Ogawa, K., Tajima, T. et al. First measurements of $p^{11}\text{B}$ fusion in a magnetically confined plasma. Nat Commun 14, 955 (2023), <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36655-1>.
- [3] Fusion Industry Association, The global fusion industry in 2023 – Fusion Companies Survey by the Fusion Industry Association.
- [4] T. Lindén, Fuusioyrittysten rahoitus lisääntyy ja tutkimus etenee, ATS Ydintekniikka 2, 2022, s. 34-38 (in Finnish).
- [5] T. Kurki-Suonio, Kilpajuoksu kohti fuusiotuottoa käynnistynyt - kilpailijoilla eri matkat ja tavoitteajat, ATS Ydintekniikka 1, 2021, s. 31-36 (in Finnish).
- [6] Fusion Industry Association, The Fusion Industry Supply Chain 2023: Opportunities and challenges.
- [7] NRC, <https://www.nrc.gov/reactors/new-reactors/advanced/policy-development/fusion-energy.html>.
- [8] UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy, Towards Fusion Energy: The UK Government's response to the consultation on its proposals for a regulatory framework for fusion energy, ISBN 9781528634823, E02760952 06/22, CP 694.
- [9] UK Government, <https://bills.parliament.uk/bills/3311>.
- [10] Review of the Canadian Nuclear Safety Commission's Regulatory Framework for Readiness to Regulate Fusion Technologies), CSSC RSP-762.1 Final Report.
- [11] UK Government, <https://www.gov.uk/government/publications/agile-nations-uk-japan-and-canada-joint-recommendations-on-fusion-energy/agile-nations-working-group-on-fusion-energy-regulation-initial-recommendations>.
- [12] Study on the Applicability of the Regulatory Framework for Nuclear Facilities to Fusion Facilities. Towards a specific regulatory framework for fusion facilities, Final report, GRS and KIT, European Commission, December 2021.
- [13] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Eriksson, L., Papadopoulou, M., Passalacqua, R. et al., Exploring regulatory options for fusion power plants, Eriksson, L.(editor), Passalacqua, R.(editor), Ibbott, C.(editor), Publications Office of the European Union, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/980320>.
- [14] J. Elbez-Uzan et al., Recommendations for the Future Regulation of Fusion Power Plants, Nuclear Engineering and Technology, submitted (2023).
- [15] Government of Finland, government proposal 16/1985, https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Documents/he_16+1985.pdf (in Finnish).

Authors



D.Sc. (Tech.) Markus Airila

Principal Scientist, Interim Research Team Leader
Fusion Energy and Decommissioning
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd
markus.airila@vtt.fi
(photo: Tiina Apilo)



Ph.D. Tomas Lindén

Project Leader
Helsinki Institute of Physics
Tomas.Linden@helsinki.fi
(photo: Eva Godenhielm)

Mitkä periaatteet ohjaavat mahdollisten pienydinvoimaloiden ydinjätehuoltoa? Suurten kaupunkien asukkaat kannattavat keskittämistä

Matti Kojo¹, Tapio Litmanen², Niina Kiviluoma¹, Mika Kari²

¹LUT-yliopisto, ²Jyväskylän yliopisto

Tarkastelemme pääkaupunkiseudun ja Tampereen asukkaiden suhtautumista mahdollisten pienydinvoimaloiden ydinjätehuollon järjestämisperiaatteisiin. Asukaskyselyssä eniten kannatusta keräsi keskitetty ydinjätehuolto. Pienydinvoimaloiden mahdollinen käyttöönotto eri puolilla Suomea voi tuottaa tilanteen, jossa hajautettu ydinvoimatuotanto johtaa hajautettuun ydinjätehuollon malliin. Suomessa tarvitaankin julkista keskustelua pienydinvoimaloiden ydinjätehuollosta.

We examine the attitudes of residents in the Helsinki metropolitan area and Tampere towards the principles of organising nuclear waste management for potential SMR power plants. In a survey of residents, centralised nuclear waste management was the most popular option. Introduction of SMR power plants in different parts of Finland could lead to a situation where decentralised nuclear power production leads to a decentralised nuclear waste management model. A public debate on the management of nuclear waste from SMR power plants is therefore needed in Finland.

Suomessa on viime vuosina herännyt kiinnostus pienydinvoimaloihin, mutta julkinen keskustelu niiden ydinjätehuollosta on ollut vähäistä. Kaikissa asukasluvultaan kymmenessä suurimmassa kaupungissa (kuva 1) on tehty pienydinvoimaa koskeva valtuustoaloite tai asiaa on muutoin ryhdytty selvittämään alustavasti. Esimerkiksi Helen ja Fortum selvittävät yhteistyömahdollisuuksiaan [1]. Myös muita selvityksiä on tekeillä.

Pyhäjoella selvitetään mahdollisuutta hyödyntää Hanhikivenniemen laitospaikkaa ja Outokumpu tarkastelee yhdessä Fortumin kanssa Tornion terästehtaan lähialuetta pienydinvoiman sijoituspaikkana [2, 3]. LUT-yliopisto [4] suunnittelee Lappeenrantaan tutkimuskäyttöön tarkoitettua mikroreaktoria yhdysvaltalaisyhtyrityksen kanssa. Reaktori kytkettäisiin myös kaupungin kaukolämpöverkkoon.

Pienydinvoimaloiden ydinjätehuolto

Ydinenergialain (1987/990) mukaan ”ydinjätteet, jotka ovat syntyneet Suomessa tapahtuneen ydinenergian käytön yhteydessä tai seurauk-

sena, on käsiteltävä, varastoitava ja sijoitettava pysyväksi tarkoitetulla tavalla Suomeen.” Ydinjätteiden tuonti on kielletty. Ydinjätteen tuottajilla on niistä huolehtimisvelvollisuus. Pienydinvoimahankkeiden mahdollisen etenemisen myötä Suomessa tarvitaan keskustelua niiden ydinjätehuollon järjestämisperiaatteista varsinkin, kun edellä mainittu kansallisen vastuun mallia on haastettu [5].

Ydinvoimalla on poliittista tukea. Pääministeri Petteri Orpon hallitusohjelmassa luvataan edistää ydinvoimahankkeiden rahoitusratkaisuja, helpottaa voimaloiden rakentamista keventämällä lupaprosessia ja edistää kaukolämpöä tuottavien SMR-reaktoreiden käyttöä [6].

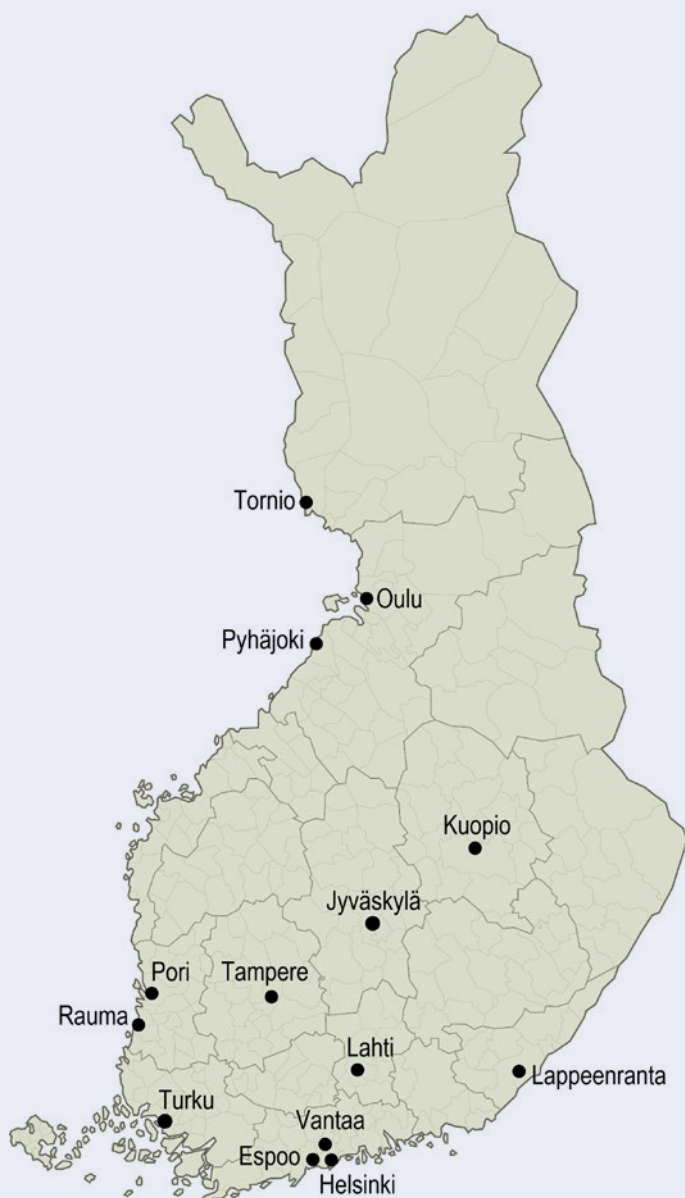
Lisäksi suomalaisten suhtautuminen ydinvoimaan on myönteistä [7]. Mahdollisten pienydinvoimaloiden kohdalla tulee tosin huomata, että asukkaat suhtautuvat kriittisesti laitosten sijoittumiseen lähelle asuttajien kotia [8].

Esimerkiksi Helsingin Sanomat¹ on huomioinut pienydinvoimalainnostuksen, mutta lehti ei ole peräänkuuluttanut ydinjätehuoltojärjestelyitä [10]. Samaan aikaan yksittäisissä kannanotoissa on esitetty jopa

¹ Helsingin Sanomien analyysissa ydinvoiman rakentajilta peräänkuulutettiin leveitä ja kantavia hartioita ydinjätehuollon takia [9].

ydinjätteiden vienti- ja tuontikiellon poistamista ydinenergialaista, koska sen on katsottu edistävän pienydinvoimateknologian vientiä [5, s. 34]. Pienydinvoimaloiden ydinjätehuollosta on tekeillä selvityksiä [11]. Huomiota on herättänyt myös tutkimus, jonka mukaan pienydinvoimalat tuottavat enemmän ydinjätettä kuin suuret kevytvesireaktorit [12].

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus on esitetty Suomessa ratkaistuna ongelmana [1]. Pienydinvoimaloiden ydinjätehuollosta keskusteltaessa olisi kuitenkin hyvä muistaa Posivan ja Fennovoiman välinen kiista loppusijoituksesta [13]. Vasta hallituksen väliintulon myötä yhtiöt solmivat sopimuksen, mutta se koski vain tutkimus- ja kehitystyötä [14]. Myös Eurajoen kunta on muistuttanut ”isäntäkunnan” roolista, jos loppusijoituslaitoksen kapasiteettia haluttaisiin laajentaa.



Kuva 1. Pienydinvoimala-aloitteita ja -selvityksiä on tekeillä erityisesti suurimmissa kaupungeissa.

Ydinenergialain mukaan vastuu ydinjätteistä on jätteiden tuottajalla. Jos mahdollisten pienydinvoimaloiden omistus hajaantuu useille keskenään kilpaileville toimijoille tai jos pienydinvoimaloiden omistajat eivät onnistu neuvottelemaan sopimusta loppusijoituksesta Posivan ja sen omistajien kanssa, niin edessä olisi tilanne, jossa pienydinvoimalan tuottamien jätteiden loppusijoitusta tai ainakin varastointia suunniteltaisiin voimalan sijaintikuntaan.

Tässä artikkelissa tarkastelemme miten pääkaupunkiseudun ja Tampereen asukkaat suhtautuvat mahdollisten pienydinvoimaloiden ydinjätehuollon vaihtoehtoihin.

Asukaskysely

Asukaskyselyssä selvitettiin vastaajien suhtautumista pienydinvoimaloiden käyttöönottoon Suomessa ja vastaajan omassa asuinkunnassa. Lisäksi kyselyssä käsiteltiin erilaisia pienydinvoimaan liittyviä teemoja, kuten ydinjätehuoltoa.

Pienydinvoimaa koskevaan asukaskyselyyn vastasi 2104 suomenkielistä 18–75-vuotiaasta asukasta Helsingissä, Espoossa, Vantaalla ja Tampereella. Vastanneista 46,9 % oli miehiä ja 51,4 % naisia, 1 % vastaajista oli muita sukupuolia, eikä 1,1 % vastanneista halunnut ilmoittaa sukupuoltaan. Aineisto kerättiin Innolink Oy:n kuluttajapaneelille suunnattuna verkkopohjaisena kyselynä marras-joulukuussa 2022. Kyselyn virhemarginaali on 2,1 %.

Vastaajien sukupuolijakauma noudatti alueen sukupuolijakaumaa. Vastaajien ikäjakama noudatteli myös väestön ikäjakamaa, vaikkakin 60–69-vuotiaat vastaajat olivat yliedustettuna ja nuorimmat (alle 30-vuotiaat) vastaajaryhmät olivat hieman aineistossa aliedustettuna. Asukaskysely tavoitti useammin korkeammin koulutettuja ja ylimpien tuloluokkien vastaajia, kun taas pienituloiset vastaajaryhmät (alle 20000 € vuosituloilla) olivat aineistossa selkeästi aliedustettuna.

Tulokset

Asukaskyselyssä vastaajilta tiedusteltiin suhtautumista kolmeen toisistaan poikkeavaan periaatteeseen pienydinvoimaloiden ydinjätehuollon järjestämisessä. Periaatteet olivat keskitetty ratkaisu, ydinjätteiden vienti ulkomaille ja loppusijoitus voimalaitoksen sijaintikuntaan. Lisäksi esitettiin edellä mainittuja vaihtoehtoja tarkentavia väittämiä.

Suomessa käytetty ydinpolttoaine on päätetty loppusijoittaa ja Posivan loppusijoituslaitos lähestyy käyttöönottoaihetta. Suurten kaupunkien asukkaat eivät kuitenkaan tue varauksettomasti pienydinvoimaloiden ydinjätteen loppusijoitusta. Vastaajista 41 % oli samaa mieltä ja 27 % eri mieltä väittämästä ”Pienydinvoimaloiden ydinjätteet voidaan turvallisesti loppusijoittaa Suomen kallioperään.” (kuva 2). Loput (32 %) eivät ilmaisseet kantaansa. Energiatieteellisuuden kansallisessa kyselyssä syksyllä 2022 [7] suomalaisista 50 % oli samaa mieltä ja 21 % eri mieltä väittämästä ”Ydinjätteet voidaan turvallisesti loppusijoittaa Suomen kallioperään”. Vastaajista 29 % vastasi vaikea sanoa [7, s. 29].

Kuten kuvasta 3 ilmenee, niin vastaajien enemmistö (58 %) oli samaa mieltä siitä, että pienydinvoimaloiden jätehuolto pitäisi järjestää keskitetysti. Vain yhdeksän prosenttia vastaajista oli asiasta eri mieltä. Keskittämisperiaatteen puolesta puhuu myös, että 37 % vastaajista oli samaa mieltä siitä, että jokaiselta laitospaikalta tai pienimmiltä toimijoilta ei voida edellyttää omia ydinjätehuollon järjestelyitä. Vaikka keskittämisperiaate saa tukea, niin kuitenkin vain 30 % vastaajista keskittäisi loppusijoituksen Eurajoelle.

Peräti 55 % vastaajista ei osannut tai halunnut ilmaista kantaansa väittämään ”Pienydinvoimaloiden käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus tulee keskittää Eurajoen Olkiluotoon.” Kantaansa ilmaisseiden osuus olisi

voinut olla suurempi, jos väittämässä olisi mainittu Olkiluotoon rakennettu loppusijoituslaitos. Keskittämisperiaate saa asukaskyselyssä enemmistön tuen, mutta minne loppusijoitus tulisi keskittää jää avoimeksi kysymykseksi.

Esitetyistä periaatteista toiseksi suosituin oli vaihtoehto, jossa moraalisen vastuun loppusijoituksesta kantaa pienydinvoimaa käyttävä kaupunki. Vastaajista 43 % oli samaa mieltä väittämstä ”Pienydinvoimaa käyttävillä kaupungeilla on moraalinen velvollisuus loppusijoittaa tuottamansa ydinjätteet oman kunnan alueelle.” Ei samaa eikä eri mieltä oli 35 % vastaajista ja eri mieltä oli 22 %.

Vaikka ydinvoimaa käyttävän kaupungin moraalista vastuuta peräänkuuluttava väittämä sai tukea, niin kuitenkin vain 32 % vastaajista oli samaa mieltä väittämstä ”Hyväksyn pienydinvoimalan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen kotikuntaani”. Enemmistö (55 %) vastaajista hyväksyi kuitenkin pienydinvoiman käyttöönoton kotikunnassaan. Näyttää siltä, että vastaajien moraalinen kanta joustaa, jos käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituskuntana olisikin oma kotikaupunki. Vastaajista 34 % ei hyväksynyt loppusijoittamista kotikuntaansa.

Kiinnostavaa oli myös se, että ydinjätteiden pitkäaikainen varastointi vastaajan kotikuntaan sai hieman vähemmän kannatusta (31 %) ja enemmän vastustusta (38 %) kuin ydinjätteiden loppusijoitus vastaajan kotikuntaan (kuva 3).

Kolmanneksi ”suosituin” periaate oli jätteiden palautus ulkomaille. Vastaajista 33 % oli samaa mieltä väittämstä ”Ydinenergialakia tulee muuttaa niin että pienydinvoimalan tuottama käytetty ydinpolttoaine voidaan palauttaa ulkomaille valmistajalle.” Kuitenkin yli puolet (53 %) vastaajista ei osannut tai halunnut ilmaista kantaansa väittämään. Vastaajista 14 % oli eri mieltä.

Epäröinnin taustalla voi olla loppusijoituksen kansallisen vastuun periaate ja nykyiseen lakiin kirjattu vienti- ja tuontikielto. Vastaajista 26 % hyväksyi ja 44 % ei hyväksynyt ulkomailta tuotetun ydinjätteen loppusijoitusta Eurajoen Olkiluotoon. Loput 31 % eivät ilmaisseet kantaansa. Suurten kaupunkien asukkaat suhtautuivat joka tapauksessa ydinjätetuontiin myönteisemmin kuin suomalaiset keskimäärin. Vuonna 2016 kansallisessa kyselyssä vain reilu 10 prosenttia vastaajista oli väitteen ”Hyväksyn ulkomailta tuotetun ydinjätteen loppusijoituksen Eurajoen Olkiluotoon, jos se todetaan turvallisesti” kanssa samaa mieltä ja lähes kolme neljästä vastaajista oli eri mieltä [15].

Periaatteisiin suhtautumisessa oli eroja myös vastaajien sukupuolen mukaan tarkasteltuna (kuva 4). Vaikka enemmistö naisista (52 %) tukee ydinjätehuollon keskittämistä, niin miehissä vastaava kannatus on tätä suurempi (65 %). Naiset epäröivät miehiä useammin keskittämisen periaatetta. Naiset olivat miehiä varauksellisempia myös suhtautumisessa ydinenergiain muuttamiseen ydinjäteviennin sallimiseksi. Sekä naisista että miehistä useimmat jättivät ilmaisematta kantansa ydinjätteiden palauttamista koskevaan väittämään. Sen sijaan naiset (49 %) kannattivat miehiä (36 %) useammin pienydinvoimaa käyttävän kaupungin moraalista velvollisuutta loppusijoittaa tuottamansa ydinjätteet oman kunnan alueelle.

Johtopäätökset

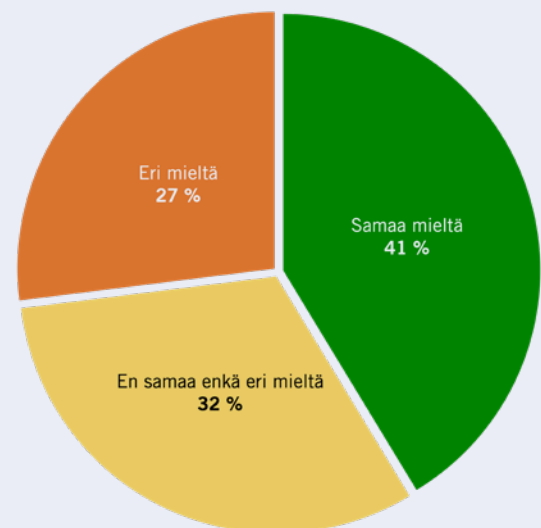
Käytetyn ydinpolttoaineen huollon ohjenuorana on ollut 1990-luvun puolivälistä lähtien Suomessa tapahtuva loppusijoitus, jonka suunnittelu-, toteutus- ja kustannusvastuu on jätteentuottajilla. Tätä ennen Suomi oli osa kansainvälistä suljettua polttoainekiertoa. Ydinenergiailaissa mainittuna poikkeuksena oli FIR 1 -tutkimusreaktorin käytetty polttoaine, joka palautettiin vuonna 2021 Yhdysvaltoihin.

Suomessa käynnistynyt keskustelu pienydinvoimaloista synnyttää tarpeen pohtia ydinjätehuollon järjestämisperiaatteita. Ajankohta on otollinen, koska ydinenergiain kokonaisuudistus on meneillään.

Pienydinvoimaloiden mahdollinen käyttöönotto eri puolilla Suomea voi tuottaa tilanteen, jossa hajautettu ydinvoimatuohtanto johtaa hajautettuun ydinjätehuollon malliin. Tämä tulee tapahtumaan, jos keskitettyä ratkaisua ei saada aikaan. On oletettavaa, että yhtiöt pyrkisivät kustannussyistä vapaaehtoiseen yhteistyöhön käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksessa, mutta aiempi kokemus osoittaa, että tämä ei välttämättä onnistu, vaikka valtiovalta niin haluaisi.

Ydinjätehuollon järjestelyperiaatteissa yksi huomioitava tekijä on kansalaismielipiteet. Asennekyselyn tulokset antavat ristiriitaisia vastauksia kysymykseen ydinjätehuollon periaatteista. Yhtäältä vastaajien enemmistö (58 %) kannattaa keskitettyä ratkaisua. Toisaalta vastaajat ja erityisesti naiset korostavat pienydinvoimalan sijaintipaikkakunnan moraalista velvollisuutta loppusijoittaa ydinjätteet oman kunnan alueelle (43 % kaikista vastaajista samaa mieltä, naisista 49 %).

Pienydinvoimaloiden ydinjätteet voidaan turvallisesti loppusijoittaa Suomen kallioperään. (n=2098)



Kuva 2. Pääkaupunkiseudun ja Tampereen asukkaiden mielipiteet väittämään ”Pienydinvoimaloiden ydinjätteet voidaan turvallisesti loppusijoittaa Suomen kallioperään” (n=2098).

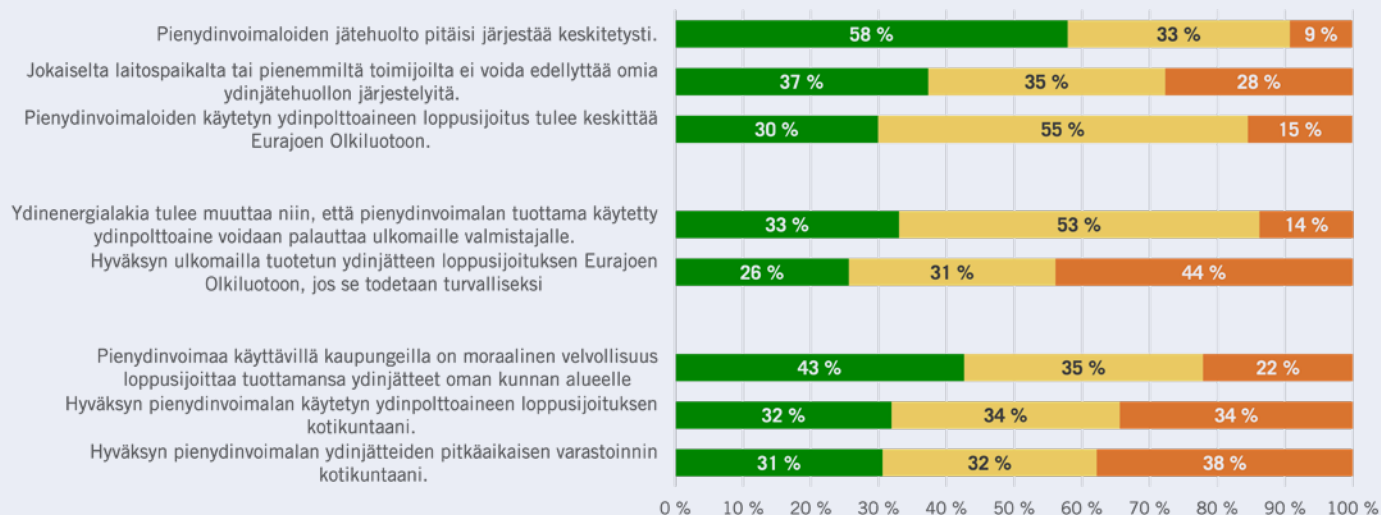
Pohdinnan monimutkaisuutta lisää myös se tulos, että vastaajista vain 32 % hyväksyi käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen omaan kotikuntaansa sekä se, että vastaajista 34 % kannatti ajatusta ydinjätteiden palauttamisesta ulkomaiselle valmistajalle. Merkitseväntä on myös, että niiden vastaajien osuus, jotka eivät osanneet tai halunneet ilmaista kantaansa oli kaikissa tarkastelluissa väittämässä vähintään 25 %. Osaltaan tämä johtuu siitä, että pienydinvoima on suurelle yleisölle asiana vielä verraten uusi. Alan keskeisiltä toimijoilta tarvitaan perusteltuja esityksiä siitä, miten ja missä ne hoitaisivat mahdollisten pienydinvoimaloiden ydinjätehuollon.

Kiitokset

Artikkeli on kirjoitettu SAFER2028-tutkimusohjelman rahoittamassa SMRSiMa-hankkeessa (Dnro 23/2023) ja Suomen Akatemian rahoittamassa Promises-hankkeessa (nro 351173). Kiitämme YTM Sanni Sipistä kartan teknisestä toteutuksesta.

Pääkaupunkiseudun ja Tampereen asukkaiden näkemykset ydinjätehuoltoon liittyviin väittämiin 2022 asukaskyselyssä (N=2104)

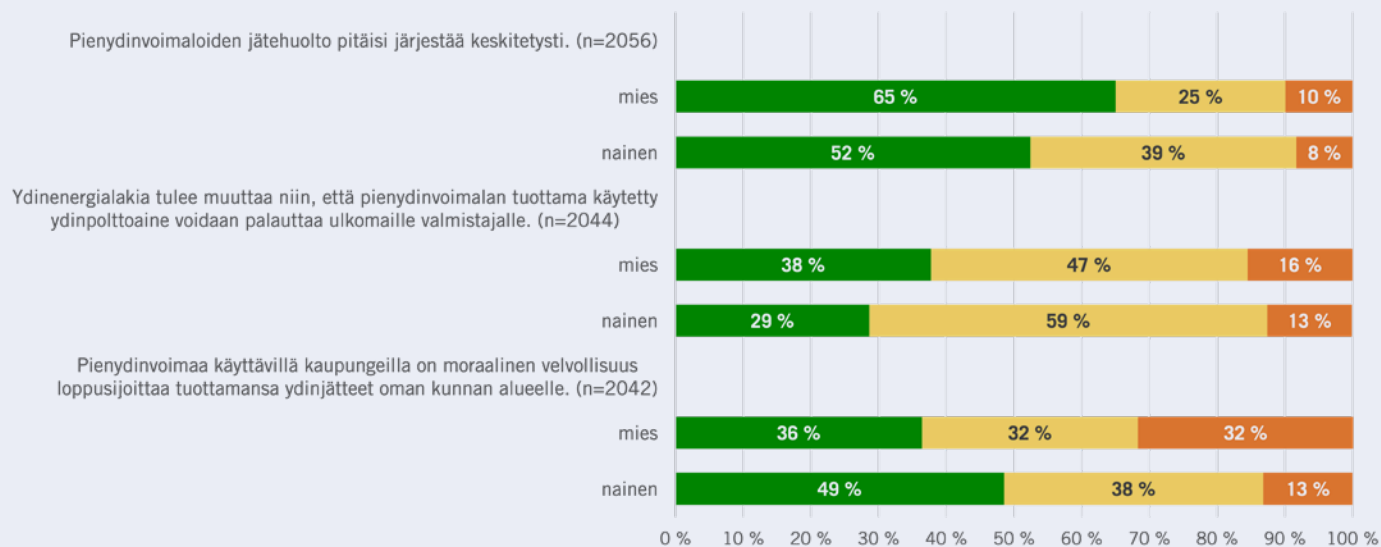
■ Samaa mieltä ■ En samaa enkä eri mieltä ■ Eri mieltä



Kuva 3. Pääkaupunkiseudun ja Tampereen asukkaiden mielipiteet mahdollisten pienydinvoimaloiden ydinjätehuollon periaatteista (N=2104).

Pääkaupunkiseudun ja Tampereen asukkaiden näkemykset ydinjätehuollon periaatteista.

■ Samaa mieltä ■ En samaa enkä eri mieltä ■ Eri mieltä



Kuva 4. Pääkaupunkiseudun ja Tampereen asukkaiden mielipiteet ydinjätehuollon periaatteista sukupuolen (mies ja nainen) mukaan.

Viitteet

- [1] Helen. Helen ja Fortum selvittävät yhteistyön mahdollisuuksia pienydinvoiman saralla. Tiedote 25.11.2022. <https://www.helen.fi/uutiset/2022/helen-ja-fortum-selvittavat-yhteistyon-mahdollisuuksia-pienydinvoiman-saralla> (Luettu 29.10.2023)
- [2] Politi, Alberto. USU: Pyhäjoelle havitellaan uutta ydinvoimalahanketta kariutuneen tilalle – kunta hakee selvitykselle rahoitusta ministeriöstä. Uutinen Yle 26.10.2022, <https://yle.fi/a/74-20002500> (Luettu 9.11.2023).
- [3] Fortum. Fortum ja Outokumpu selvittävät mahdollisuuksia terästeollisuuden hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Lehdistötiedote 23.3.2023, <https://www.fortum.fi/media/2023/03/fortum-ja-outokumpu-selvittavat-mahdollisuuksia-terasteollisuuden-hiilidioksidipaastojen-vahentamiseksi> (luettu 9.11.2023).
- [4] LUT-yliopisto. Lappeenrantaan suunnitellaan pienydinvoimalaa. Tiedote 15.12.2022. <https://www.lut.fi/fi/uutiset/lappeenrantaan-suunnitellaan-pienydinvoimalaa> (Luettu 9.11.2023)
- [5] Kojo, Matti, Lehtonen, Markku, Litmanen, Tapio, Kiviluoma, Niina. “We have a solution’: Delivering on the promise to take national responsibility for nuclear waste management”, TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis. DE, 31(3), pp. 31–36. doi: 10.14512/tatup.31.3.31. 2022.
- [6] Valtioneuvosto. Vahva ja välittävä Suomi. Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma, Valtioneuvoston julkaisuja 2023:58, urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-763-8 (Luettu 29.10.2023)
- [7] Energiatieteellisyys. Suomalaisten energia-asenteet, 2022.
- [8] Kojo, Matti, Tornberg, Sarah, Kari, Mika, Vainio, Anni, Litmanen, Tapio, Lehtonen, Markku. Naapuriksi pienydinvoimala? ATS Ydintekniikka, 52(1), 24–28, 2023.
- [9] Lassila, Anni. HS-analyysi: Vaikka ydinvoimasta tehtäisiin kuinka söpöä, siihen ei voi suhtautua kepeästi. 20.10.2022, <https://www.hs.fi/talous/art-2000009140727.html> (Luettu 10.11.2023)
- [10] Kari, Mika, Lehtonen, Markku, Litmanen, Tapio, Kojo, Matti. Technological hype, promises and expectations: Discussion on Small Modular Reactors in Helsingin Sanomat (Finland) in 2000-2022, Journal for Technology Assessment in Theory and Practice, 2023 (tulossa).
- [11] Keto, Paula, Juutilainen, Pauli, Schatz, Timothy, Naumer, Sami, Häkkinen, Silja, Haavisto, Tuire. SMR Waste Management and Disposal. EcoSMR Final Seminar, esitys 23.11.2022. https://www.ecosmr.fi/finalseminar/finaljointsession/Keto_dEComm_EcoSMR_final_joint_session.pdf (Luettu 9.11.2023)
- [12] Krall, Lindsay M., Macfarlane, Allison M., Ewing, Rodney C. Nuclear waste from small modular reactors, PNAS, 119 (23) e2111833119, <https://doi.org/10.1073/pnas.2111833119>, 2022.
- [13] Kojo, Matti, Oksa, Anna. The second repository for disposal of spent nuclear fuel in Finland. An analysis of the interests, resources and tactics of the key actors. Tampere: University of Tampere. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-44-9514-4>, 2014.
- [14] Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). Fennovoima ja Posiva sopimukseen ydinjäteyhteistyöstä. Työ- ja elinkeinoministeriön tiedote 22.6.2016, <https://tem.fi/-/fennovoima-ja-posiva-sopimukseen-ydinjateyhteistyosta>, 2016.
- [15] Aarnio, Anna-Riikka, Kojo, Matti, Litmanen, Tapio. Fennovoiman loppusijoituslaitoksen yhteiskunnallinen hyväksyttävyyys: miten suomalaiset suhtautuvat vaihtoehtoihin? ATS Ydintekniikka 3(46), 16–20, 2017.

Kirjoittajat



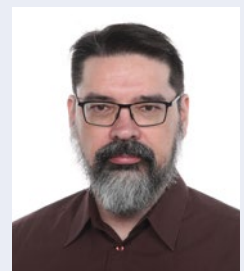
YTT Matti Kojo
Tutkijaopettaja
LUT-yliopisto
matti.kojo@lut.fi



Professori Tapio Litmanen
Jyväskylän yliopisto
tapio.a.litmanen@jyu.fi



YTM Niina Kiviluoma
Projektitutkija
LUT-yliopisto
niina.kiviluoma@lut.fi



YTT Mika Kari
Tutkijatohtori
Jyväskylän yliopisto
mika.kari@jyu.fi

Radiumin pidätyminen kiteisessä kivessä – autoradiografiaa ja sorption mallintamista

Otto Fabritius, Marja Siitari-Kauppi
Helsingin yliopisto, Kemian osasto, Radiokemia

Käytetty ydinpolttoaine suomalaisista ja ruotsalaisista ydinvoimaloista tullaan loppusijoittamaan maanalaisiin loppusijoituslaitoksiin. Osana näiden turvallisuusperusteluja ydinpolttoaineen sisältämän uraani-238:n ja sen radioaktiivisten hajoamistuotteiden käyttäytyminen tulee selvittää ennen loppusijoitusta. Uraani-238:n tytärnuklidi radium-226 on merkittävä käytetyn ydinpolttoaineen radioaktiivisen annoksen aiheuttaja loppusijoituksen jälkeen, ja siksi sen pidätyismekanismia kivessä tutkittiin eräkokein, mallintamalla ja autoradiografiamenetelmillä. Kokeissa havaittiin, että radium pidättyy hyvin tutkittuihin kiteisiin kivityyppeihin ja niiden päämineraaleihin luonnollisen kaltaisissa pohjavesiolosuhteissa.

Spent nuclear fuel from Finnish and Swedish nuclear power plants will be disposed of in deep geological disposal facilities. As a part of the facilities' safety cases, the spent fuel's uranium-238 and its radioactive progeny's behavior needs to be studied before the start of the disposal. Uranium-238's daughter radium-226 is a significant radioactive dose contributor of the spent nuclear fuel, and thus its sorption properties in rock were studied with batch sorption experiments, modeling, and autoradiography methods. In the experiments it was observed that radium sorbs well on the studied rock types and their primary minerals in natural analog groundwater conditions.

Nykypäivään mennessä Suomi on tuottanut ydinvoimaloissaan noin 2400 tonnia korkea-aktiivista ydinjätettä, joka sisältää myös käytetyn ydinpolttoaineen [1]. Ruotsin vastaava luku on noin 8000 tonnia [2]. Tämä ydinjäte on ihmiselle ja luonnolle vaaraksi ilman asianmukaista jätehuoltoa. Suomessa ja Ruotsissa käytetty ydinpolttoaine tullaan loppusijoittamaan satojen metrien syvyyteen peruskallioon Itämeren rannoille. Se suljetaan visusti ihmisten suunnitteleminen (muun muassa jätekanisterit ja bentoniittisuojus) ja luonnollisten esteiden (vakaa peruskallio ja suotuisat pohjavesiolosuhteet) taakse loppusijoitustiloihin.

Ennen ydinpolttoaineen loppusijoituksen aloitusta näitä maanalaisia loppusijoituslaitoksia ympäröivän peruskallion ominaisuudet tulee tuntea hyvin. Lisäksi tulee selvittää, miten loppusijoitetun ydinpolttoaineen sisältämät radionuklidit liikkuisivat kalliassa, mikäli jotain menisi pieleen jätteen satoja tuhansia vuosia kestävässä varastoinnissa.

Uraani-238 on yhä käytetyn ydinpolttoaineen pääkomponentti, joten se ja sen radioaktiiviset hajoamistuotteet ovat valokeilassa radionuklidien tarkastelussa. Näistä hajoamistuotteista loppusijoitusturvallisuuden suunnittelijoiden mielenkiinto kohdistuu muun muassa radium-226:een, joka on raskain tunnettu maa-alkalimetalli ja Suomessa tunnettu hajoamistytärnsä radon-222:n takia.

Radium-226 rikastuu loppusijoitetussa ydinpolttoaineessa satojen tuhansien vuosien kuluessa ja muodostaa aikanaan suurimman osan polttoaineen tuottamasta säteilyannoksesta [3,4]. Lisäksi radiumin on arvioitu olevan mobiili joissain kallioperän olosuhteissa [5]. On siis tärkeää selvittää radiumin kemialliset ja kulkeutumisen ominaisuudet loppusijoituslaitoksia ympäröivissä kivityypeissä ja pohjavesiolosuhteissa. Näitä kysymyksiä käsitellään kahdessa tieteellisessä julkaisussa Fabritius ym. [6,7], joiden pohjalta tämä artikkeli on kirjoitettu.

Koeolosuhteiden valinta

Koeolosuhteet valittiin edustamaan Olkiluodon ja Forsmarkin (Suomen ja Ruotsin loppusijoituslaitokset) sijaintien geologisia ja hydrogeologisia olosuhteita. Paikat sijaitsevat Itämeren vastakkaisilla rannoilla noin 200 km päässä toisistaan. Ei olekaan yllättävää, että kyseisillä paikoilla on useita samankaltaisia ominaisuuksia. Molempien loppusijoituspaikkojen valinnoissa on haettu mahdollisimman vakaita olosuhteita, joiden evoluutiota on helppo ennakoita pitkälle tulevaisuuteen.

Geologialtaan Olkiluodon alue koostuu pääosin suonigneisistä, diateksiittisestä gneisistä ja pegmatiittigraniitista [8]. Forsmarkin alueel-

la yleisiä kivilajeja ovat tonaliitti, erilaiset graniitit ja granodioriitti [9]. Näytteiksi laboratoriokokeisiin valittiin kahdeksan erilaista kivityyppiä, joista tässä artikkelissa keskitytään tarkastelemaan kahta: kiillegneissia Olkiluodosta ja tonaliittia Forsmarkista.

Itämeren alueen hydrogeologinen evoluutio on vaikuttanut paikallisiin pohjavesiolosuhteisiin: pohjavesikemia on pääosin hapetonta ja pelkistävää, ja pohjaveden kokonaissuolapitoisuus tavallisesti kasvaa syvemmälle mentäessä: 60–150 m syvyydessä pitoisuus on noin 2–10 g/l, mutta 900 m syvyydessä jo 130 g/l [10,11]. Laboratoriokokeisiin valittiin useita erilaisia tutkittujen alueiden referenssipohjavesiä, joista hyvänä esimerkkinä tässä voidaan pitää vastaavanlaisissa kokeissa referenssinä usein käytettyä Allardin vettä [12].

Käytetyt tutkimusmenetelmät

Radiumin sorptiotutkimukset aloitettiin laajamittaisilla eräkokeilla erilaisissa vesi- ja kiviolosuhteissa. Kokeiden tuloksia tulkitsemalla voidaan geokemiallisin mallein selvittää pidättymismekanismeja. Tähän päästaksemme eräkokeissa käytettiin laajaa konsentraatioskaalaa, 10^{-9} M – 10^{-3} M, kuvaamaan sorptiopaiikkojen kyllästymistä. Johtuen siitä, että radiumilla ei ole tunnettuja stabiileja isotooppeja, konsentraatioskaala säädettiin radiumin kanssa kemiallisesti hyvin samankaltaisesti käytettävällä bariumilla.

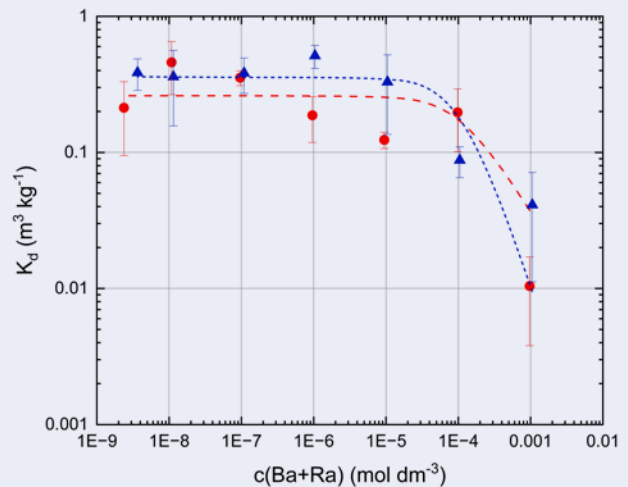
Suomen pohjavesissä bariumin pitoisuus saattaa yltää tasolle 10^{-7} M – 10^{-5} M [13], mutta radiumilla pitoisuudet ovat tavallisesti huomattavasti pienemmät, $< 10^{-8}$ M. Kuhunkin sorptionäytteeseen laitettiin noin 200 Bq radium-226:ta, ja kahden viikon tasapainoituksen jälkeen vesifaasi mitattiin gammadektoilla veteen jääneen radium-226:n aktiivisuuden selvittämiseksi. Tuloksesta laskettiin radiumille massajakautumiskerroin (K_d , m^3/kg), joka kuvaa sen määrää pidättyneenä kiviainekseen.

Geokemiallista PHREEQC mallinnustyökalua käytettiin tässä tutkimuksessa tulkitsemaan kokeellisia pidättymistuloksia radiumin eräkokeista. PHREEQC on mallinnustyökalu, joka termodynaamisia tietokantoja hyväksikäyttäen laskee syötetyille kemiallisille olosuhteille todennäköisimmän tasapainotilan. Pidättymismallinnuksessa PHREEQC:hen syötettiin kokeissa käytetyn veden olosuhteet ja mineraalipinta, jossa valitut sorptioreaktiot tapahtuvat.

Aiemman tutkimuksen [6] perusteella todettiin, että kokokivisäkin parhaiten radiumia pidättävä mineraali on liuskeinen biotiitti. Todennäköisimmäksi sorptioreaktioksi molekyylimallinnuksen [6] perusteella valittiin kationinvaihto biotiittilevyjen ulkoreunoilla radiumin tai bariumin ja biotiitin kaliumin välillä. Tämän lisäksi valittiin pintakompleksaatioreaktiot, joissa radium ja barium pidättyvät OH-komplekseina biotiitin pinnalle.

Kokokivien eräkokeiden lisäksi tutkittiin radiumin pidättymistä ja sen suuruutta kiven eri mineraaleihin. Tätä tarkasteltiin teettämällä kivistä ohuthienäytteitä, joiden päälle laitettiin radium-226:lla terästettyä Allard-pohjavesireferenssinestettä (bariumin konsentraatio 10^{-7} M). Osa radiumista pidättyi ohuthieen mineraaleihin, ja vertailemalla alkuperäistä radium-226-aktiivisuutta ja hieille jäänyttä aktiivisuutta voitiin jälleen ratkaista massajakautumiskerroin radiumille.

Tämän lisäksi voitiin autoradiografisesti [7] määrittää radiumin pidättyminen tarkasti kiven eri mineraaleihin. Fosforilevyautoradiografialla selvitetiin kvalitatiivisesti radium-226:n mineraalispesifinen pidättyminen, ja kehittyneellä BeaQuant™ digitaalisella autoradiografialla voitiin määrittää radiumin spesifinen aktiivisuus eri mineraaleissa. Eri mineraalit määritettiin elektronimikroskooppisesti (FE-SEM/EDS) ohuthieistä mineraalien alkuainejakaumaan perustuen.



Kuva 1. Radiumin eräkokeiden massajakaumakertoimet (K_d) radiumin ja bariumin konsentraation funktiona Allard-vedessä: Olkiluodon kiillegneissin kokeellinen K_d (punainen pallo) ja Forsmarkin tonaliitin kokeellinen K_d (sininen kolmio); PHREEQC-mallinnettu kiillegneissin K_d (punainen katkoviiva) ja mallinnettu tonaliitin K_d (sininen katkoviiva). Kokeellisten tulosten virherajat (1σ) on laskettu rinnakkaisnäytetulosten perusteella. [7]

Tulokset ja vertailu

Radiumin eräkokeiden kokeelliset ja PHREEQC-mallinnetut tulokset Allard-vedessä on esitetty kuvassa 1 [7]. Alkuperäisen oletuksen mukaan radium pidättyisi ensisijaisesti biotiittiin ja kiillemineeraaleihin. Näin ollen ajateltiin, että kivilajit, joissa on eniten kiillemineeraaleja ($>20\%$ kuten kiillegneississä), pidättäisivät radiumia paremmin kuin vain vähän kiillemineeraaleja sisältävät kivilajit ($<1\%$ kuten tonaliitissa). Olkiluodon kiillegneissin ja Forsmarkin tonaliitin radiumin sorptio-ominaisuuksissa havaittiin kuitenkin merkittäviä yhtäläisyyksiä. Radiumin pidättyminen molempiin kiviin on lähes yhtenevä, ja myös PHREEQC-mallinnetut tulokset ovat hyvin samankaltaisia. Samantyyppisiä alun oletuksen kyseenalaistavia tuloksia saatiin myös muille kivilajeille.

Radiumin pidätyskykyyn eri kivilajeissa vaikuttavat siis merkittävästi myös muut tekijät kuin kiillemineeraalipitoisuus. Tarkastelemalla tuloksia havaittiin, että suuri plagioklaasi- ja kalimaasälpäpitoisuus kivessä osin korreloi radiumin pidättämiskyvyn kanssa. Myös kiven ja mineraalien suuri kationinvaihtokapasiteetti (CEC) ja jossain määrin myös suuri spesifinen pinta-ala (m^2/g) lisäsivät kiven sorptiokykyä. Tämän lisäksi kävi ilmi, että Forsmarkista saatu tonaliittinäyte oli peräisin alueelta, jossa oli havaittu voimakasta kiven muuntumista. Todettiin, että tällaisen alueen kivessä on enemmän mineraaliraeavaumia, jotka lisäävät paikkoja sorptioreaktioille ja siten olennaisesti suurentavat kiven kykyä pidättää radiumia.

Eräkokeiden havaintoja tukivat myös ohuthiekoekiden tulokset. Radiumin mineraalispesifistä pidättymistä kiillegneissin ja tonaliittin ohuthiekokein on esitelty kuvassa 2 [7]. Kiillegneissin ohuthienäytteessä FE-SEM/EDS kuvissa punaisiksi merkityt kiillemineeraalit ovat jakautuneet tasaisesti ympäri hieen pintaa, kun taas tonaliitissa on yksittäisiä merkittävämpiä kiillemineeraaliympäristöjä erityisesti alueen keskiosissa.

Vertailemalla pintojen mineraalikarttoja ja autoradiogrammeja voidaan todeta, että tummat kohdat fosforilevyautoradiogrammeissa ja

valkoiset ja punaiset kohdat BeaQuant™-autoradiogrammeissa, eli pintojen radium-226-aktiivisimmat kohdat, sijoittuvat juuri kiillemineraalien kohdille. Näiden paikkojen lisäksi radiumia on sitoutunut merkittävästi myös plagioklaasi- ja kalimaasälpämineraaleihin. Hyvin vähäisissä määrin radiumia sitoutui myös kvartsiin. Tarkastellessa koko hiepinnaa laskettua jakautumiskerroin K_d -arvoa eräkokeiden tuloksiin verrannollisissa olosuhteissa (Allard-vesi, 10^{-7} M bariumia), ohuthie- ja eräkokeiden tulosten välillä huomattiin pääosin hyvä vastaavuus. Esimerkkinä voidaan käyttää tonaliittia, jonka koko ohuthiepinnan radiumin K_d -arvoksi saatiin $(5 \pm 2) \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$ ja eräkokeiden vastaavan olosuhteen K_d -arvoksi laskettiin $(4 \pm 1) \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$.

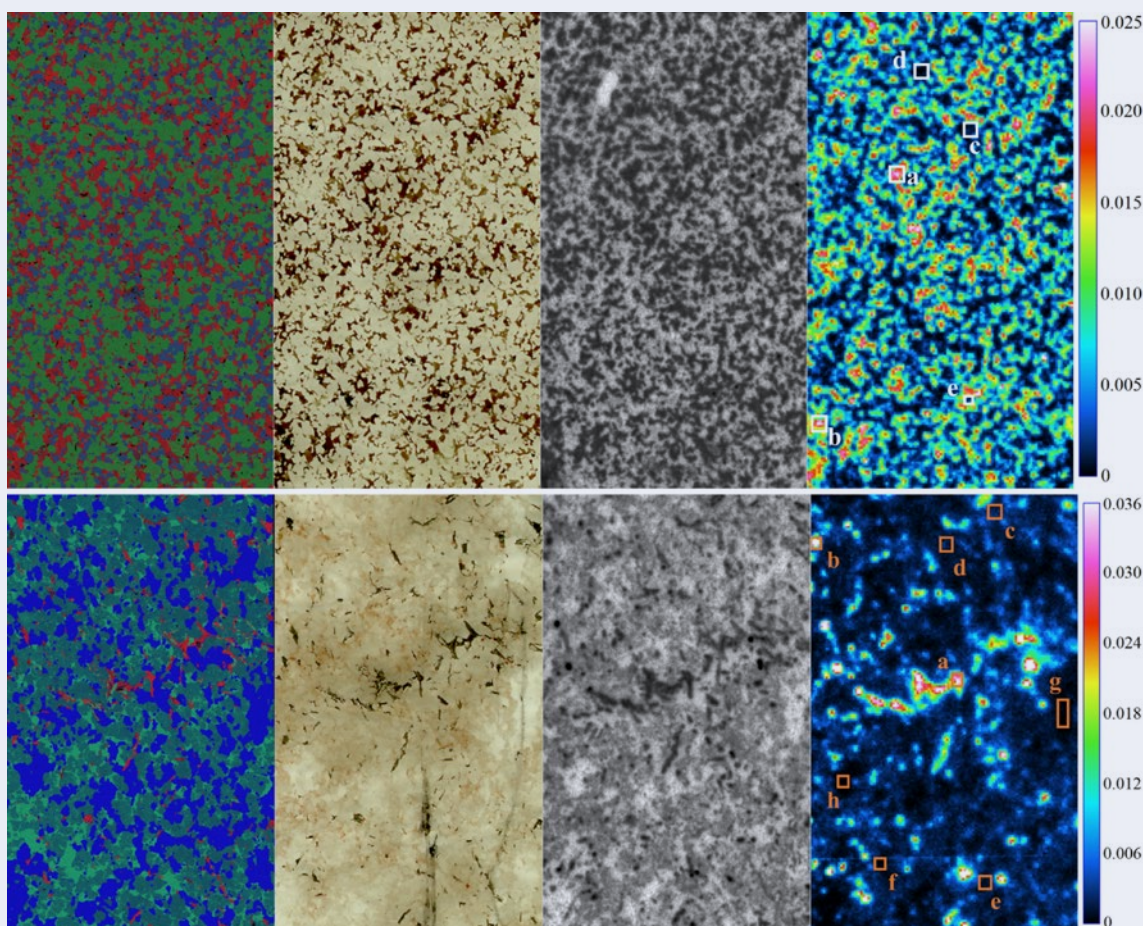
Johtopäätökset

Sorptiokokeissa havaittiin, että uraani-238:n radioaktiivinen hajoamistyö radium-226 pidättyy hyvin mineraaleihin ja kivilajeihin, jotka muodostavat merkittävän osan Suomen ja Ruotsin käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksia ympäröivästä peruskalliosta. Erityisesti vähä- ja keskisuolaisissa pohjavesissä, joiden luontainen

bariumpitoisuus on maltillinen ($< 10^{-6}$ M), radium pidättyy suurissa määrin ensisijaisesti kiillemineraaleihin ja hiukan vähemmissä määrin myös plagioklaasiin ja kalimaasälpään. Radiumin pidättymistä peruskalliossa ja sen eri pohjavesiolosuhteissa voidaan arvioida tarkasti geokemiallisilla malleilla, joista tässä työssä on käytetty PHREEQC-ohjelmistoa ja sen tietokantoja. Kehitettyä mallia voidaan käyttää laskemaan kokeellista dataa hyvin vastaavia pidättymisparametrejä bariumille ja radiumille.

Loppusijoituksen turvallisuuden kannalta radiumin merkittävä taipumus pidättäytyä erilaisiin kivilajeihin ja mineraaleihin eri olosuhteissa on erinomainen asia. Mikäli käytetyn ydinpolttoaineen radionuklidit pääsisivät jotenkin kulkemaan pois loppusijoitustiloista, laitosta ympäröivä kiviaines ja pohjavesiolosuhteet hidastavat olennaisesti radionuklidien leviämistä. Tämä lisää luottamusta loppusijoituskonseptin ja -laitoksen kykyyn suojata luontoa ja tulevaisuuden ihmisiä aiempien sukupolvien tuottamalta radioaktiiviselta jätteeltä.

Näissä tutkimuksissa [6,7] tuotettua dataa hyväksikäytetään osana laajempaa maanalaisten loppusijoituslaitosten turvallisuusperustelujen riski- ja kulkeutumismallinnusta.



Kuva 2. Radiumin ohuthiesorptiokokeiden tulokset. Ylempi rivi: kiillegneissi. Alempi rivi: tonaliitti. Rivien vasen kuva: tutkitun ohuthiepinnan FE-SEM/EDS alkuainekartta. Rivien keskivälin kuva: tutkitun ohuthiepinnan tavallinen pöytäskannerikuva. Rivien keskioikea kuva: tutkitun ohuthiepinnan fosforilevy-autogrammi. Rivien oikea kuva: tutkitun ohuthiepinnan BeaQuant™ digitaalinen autoradiogrammi ja radium-226 Bq/pxl skaala (pikselin koko $100 \times 100 \mu\text{m}$). FE-SEM/EDS alkuaine- ja mineraalikartan selite: sininen pii (kvartsi), vihreä/sinivihreä kalium, natrium ja pii (plagioklaasi ja kalimaasälpä), punainen kalium, rauta ja pii (biotitti ja kiillemineraalit). BeaQuant™ autoradiogrammien notaatiot a-h viittaavat alueisiin, joista mineraalispesifiset jakaumakertoimet laskettiin. [7]

Viitteet

- [1] Työ- ja elinkeinoministeriö. Käytetty ydinpolttoaine loppusijoitetaan Suomessa. 2022. Saatavissa: <https://tem.fi/kaytetty-ydinpolttoaine>. Sivustolla vierailtu 20.10.2023.
- [2] Reuters. Sweden approves plan to bury spent nuclear fuel for 100,000 years. 2022. Saatavissa: <https://www.reuters.com/article/sweden-nuclearpower-idUSL8N2U76BU>. Sivustolla vierailtu 20.10.2023.
- [3] Mäki, J.-M. Safety Case for the Operating License Application: Modelling Report for Simplified Landscape Dose Conversion Model (POSIVA 2021-23). Posiva Oy, 2021.
- [4] SKB. Post-closure safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Radionuclide transport report, PSAR version (SKB TR-21-07). Svensk Kärnbränslehantering AB, 2022. Saatavissa: <https://www.skb.com/publication/2506346>.
- [5] Jaremalm, M. & Köhler, S. & Lidman, F. Precipitation of Barite in the Biosphere and its Consequences for the Mobility of Ra in Forsmark and Simpevarp (SKB TR-13-28). Svensk Kärnbränslehantering AB, 2013.
- [6] Fabritius, O. & Puhakka, E. & Li, X. & Nurminen, A. & Siitari-Kauppi, M. Radium sorption on biotite; surface complexation modeling study. Applied Geochemistry. 2022, vol. 140. S. 105289. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2022.105289>.
- [7] Fabritius, O. & Fabritius, A. & Hellings, M. & Sorokina, T. & Sojakka, T. & Jakobsson, A.-M. & Li, X. & Sammaljärvi, J. & Siitari-Kauppi, M. Radium sorption on crystalline rock; spatial distribution and sorption modeling study. Applied Geochemistry. 2023. Hyväksytty julkaistavaksi.
- [8] Aaltonen, I. & Engström, J. & Front, K. & Gehör, S. & Kosunen, P. & Kärki, A. & Paananen, M. & Paulamäki, S. & Mattila, M. Geology of Olkiluoto (POSIVA 2016-16). Posiva Oy, 2016.
- [9] Stephens, M. Forsmark site investigation; Bedrock geology - overview and excursion guide (SKB R-10-04). Svensk Kärnbränslehantering AB, 2010.
- [10] Partamies, S. & Pitkänen, P. Mass-Balance Modelling Results of Groundwater Data Collected at Olkiluoto over the Period 2004-2007 (POSIVA 2014-06). Posiva Oy, 2014.
- [11] Posiva. Olkiluoto Site Description 2011 (POSIVA 2011-02). Posiva Oy, 2012.
- [12] Allard, B. & Larson, S. & Tullborg, E.-L. & Wikberg, P. Chemistry of deep groundwaters from granitic bedrock (KBS TR-83-59). KBS, 1983.
- [13] Hellä, P. & Pitkänen, P. & Löfman, J. & Partamies, S. & Vuorinen, U. & Wersin, P. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Definition of Reference and Bounding Groundwaters, Buffer and Backfill Porewaters (POSIVA 2014-04). Posiva Oy, 2014.

Kirjoittajat



FM Otto Fabritius

Väitöskirjatutkija (Kemia ja molekyyli-tieteet)
Helsingin yliopisto
otto.fabritius@helsinki.fi



FT Marja Siitari-Kauppi

Vanhempi yliopistonlehtori
Helsingin yliopisto
marja.sitari-kauppi@helsinki.fi

Diplomityö: Lauhdepumppujen kavitaatiotilanne ja soveltuvuus OL1- ja OL2-laitosyksiköiden korotetulla tehotasolla

Jere Tiitta
Teollisuuden Voima Oyj

Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2 -ydinvoimalaitoksille on meneillään esiselvitys laitosten tehonkorotuksesta, jossa laitosten terminen teho nostettaisiin tasolle 2750 MWth. Tehonkorotuksen myötä voimalaitosten päälauhdepumppujen virtaus kasvaa, joten diplomityössä arvioidaan lauhdepumppujen soveltuvuutta uuteen toimintapisteeseen. Lisäksi pumppujen kavitaatiotilannetta tulisi tutkia myös nykyteholla.

A preliminary study is ongoing on uprating power level to 2750 MWth in Olkiluoto 1 and Olkiluoto 2 nuclear power plants. The power uprate increases the flowrate in condensate pumps, and thus this master's thesis investigates suitability of condensate pumps in the new duty point. There is also need for examination of cavitation conditions in the current duty point.

Tämän diplomityön tarkoituksena oli selvittää lauhdepumppujen soveltuvuus OL1- ja OL2-laitosten korotetulla tehotasolla. Lisäksi kyseisten pumppujen ensimmäisissä juoksupöyrissä on havaittu eroosiota, joten pumppujen kavitaatiotilannetta tarkastellaan myös nykyteholla. Työssä määritettiin lauhdepumppujen uudet toimintapisteet tehonkorotuksen massa- ja lämpötaseiden perusteella.

Olkiluoto 1 ja 2 -ydinvoimalaitoksilla termistä tehoa on nostettu 1980- ja 1990-luvulla, ja uusi termisen tehon nosto on esiselvitysvaiheessa. Kuvasta 1 on nähtävissä lämpö- ja sähkötehon kehitys sekä uuden tehonkorotuksen vaikutus. Esiselvitettävän tehonkorotuksen myötä lauhdepumppujen läpi kulkeva massavirta nousee noin 80 kg/s nykyisestä, kun vastaavasti koko prosessin syöttöveden massavirta nousee noin 140 kg/s.

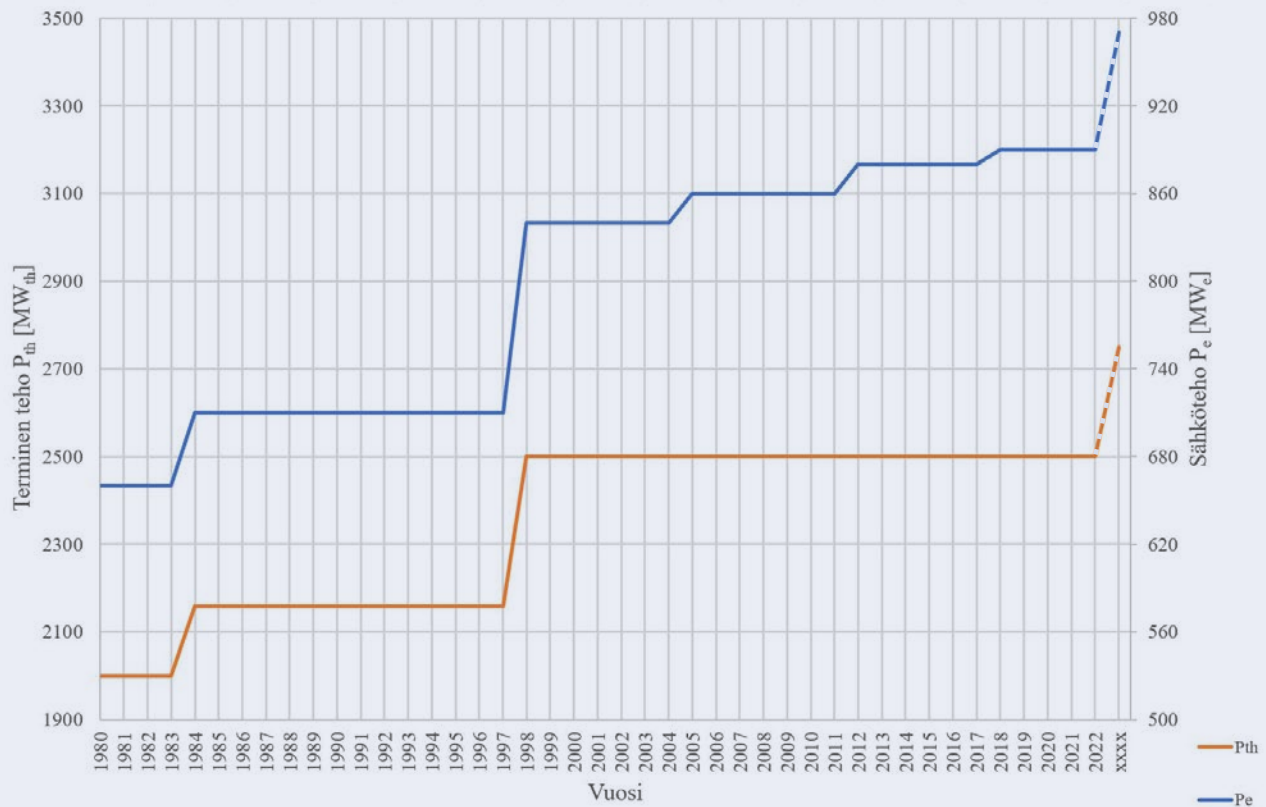
Pumput ja kavitaatio

Yksi keskeinen uhka pumppujen toiminnalle ja niiden komponenttien eliniälle on kavitaatio, joka laskee pumpun tuottamaa nostokorkeutta ja toisaalta vahingoittaa pumpun komponentteja. Yleisesti ottaen pumppujen kavitaation riski kasvaa, kun pumppujen tuottama tilavuusvirta kasvaa suunnittelupisteestä.

Pumpun kavitaatoriskin selvittämiseen keskeisin keino on määrittää saatavilla oleva net positive suction head (NPSH)-arvo. Kun tämän työn kannalta keskeisin muutos on pumppujen tuottaman tilavuusvirran kasvu, niin tällöin merkittävin NPSH:hon vaikuttava seikka on imuputkiston painehäviöt. Lisäksi saatavilla olevaan NPSH:hon vaikuttavat imusäiliön paine ja pumpattavan nesteen lämpötila. Kavitaation ilmenemistä voidaan mitata värähtelymittausten avulla, koska värähtelytasot nousevat voimistuvan kavitaation myötä.

Työn menetelmät ja tulokset

Diplomityö jakautui menetelmien osalta teoreettiseen NPSH-arvon laskentaan ja käytännössä toteutettuun koeohjelmaan. Saatavilla olevaa NPSH-arvoa arvioitiin kahdella eri painehäviökerroinkokonaisuudella. Koeohjelmassa yhtä lauhdepumppua ajettiin uudessa toimintapisteessä ja kyseiseltä pumpulta mitattiin värähtelytaso. Koeohjelman aikana lauhdepumpulla vallitsivat miltei normaalia tehoajoa vastaavat prosessiarvot, mutta lauhdepumppu tuotti uusia toimintapisteitä vastaavan massavirran. Koeohjelman aikana mitattuja värähtelytasoja verrattiin normaalin tehoajan aikana mitattuihin värähtelytasoihin.



Kuva 1. Lämpö- ja sähkötehon kehitys sekä selvitetävän mahdollisen tehonkorotuksen vaikutus tehoon Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2 -voimalaitosyksiköillä.

Työssä käytettyjen menetelmien perusteella voidaan todeta, että nykyiset lauhdepumput soveltuvat uuteen toimintapisteeseen tehonkorotuksen myötä. Saatavilla oleva NPSH-arvo voidaan olettaa laskevan 0,1-0,4 metriä, riippuen käytetyistä painehäviökertoimista. Saatavilla oleva NPSH-arvo on yli kolme metriä enemmän kuin pumpun vaatima NPSH. Lisäksi toteutettiin koeohjelma ja sen värähtelytasomittauksessa ei havaittu merkittävää muutosta normaaliin tehoajoon verrattuna.

Lisätutkimuksilla voisi selvittää kuinka tasainen virtausjakauma on pumpun imukartiossa ja minkälaisia painehäviötä tapahtuu pumpun imulinjan ja ensimmäisen juoksupyörän välillä. Tätä tarvetta tukee se, että nykyisessä toimintapisteessä tapahtuu jonkin asteista kavitaatiota ajan kuluessa, vaikka saatavilla oleva NPSH on yli kaksinkertainen vaadittuun verrattuna.

Diplomityö on hyväksytty Lappeenrannan-Lahden teknillisessä yliopistossa 17.8.2022.

Kirjoittaja



DI Jere Tiitta

Nuorempi voimalaitosinsinööri
Teollisuuden Voima Oyj
jere.tiitta@tvo.fi

Diplomityö: Safety Engineering Practices – Case Loss of Ultimate Heat Sink

Roope Lipiäinen
Fortum Power and Heat Oy

Diplomityössä tutkittiin turvallisuussuunnittelun toimintatapoja hyödyntäen BESEP-projektissa julkaistuja selvityksiä liittyen lopullisen lämpönielun menetykseen ulkoisten uhkien vaikutuksesta. Diplomityön tarkoituksena oli löytää hyviä yleisiä turvallisuussuunnittelun toimintatapoja ja antaa parannusehdotuksia.

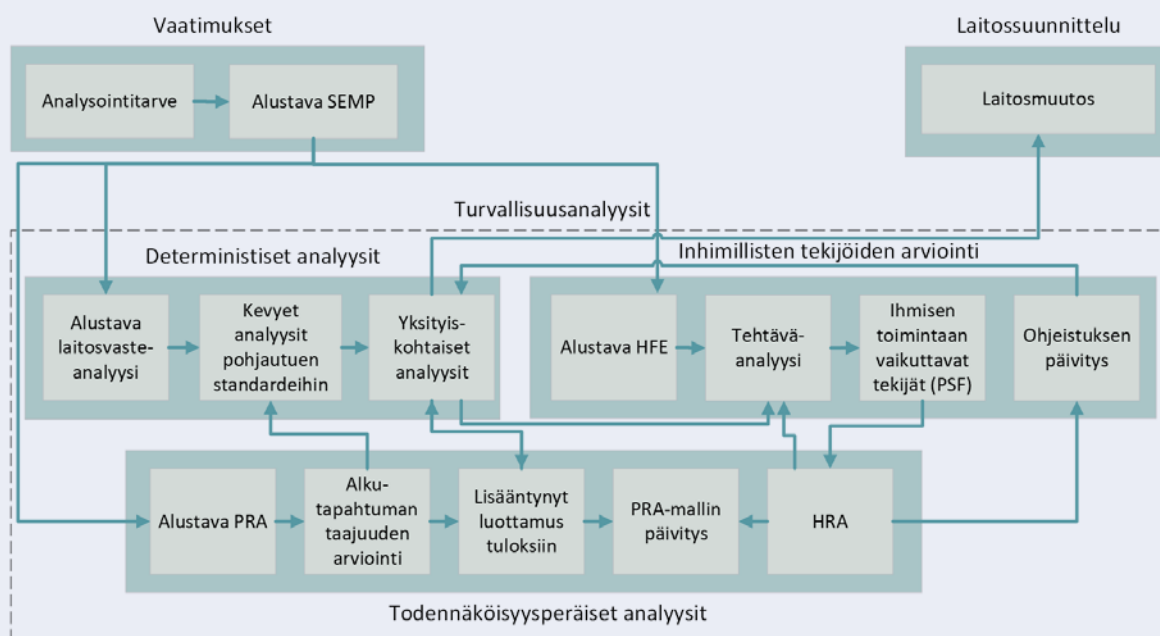
In the thesis the safety engineering practices were studied by evaluating the safety assessments that were performed to study the loss of ultimate heat sink. The safety assessments were published as a part of the BESEP-project. The aim of the thesis was to develop good safety engineering practices and offer recommendations for improvements.

Benchmark Exercise on Safety Engineering Practices (BESEP) [1] on EU-rahoitteinen projekti, joka tutkii tehokkaita turvallisuussuunnittelun toimintatapoja. Turvallisuussuunnittelulla varmistetaan, että laitos käyttäytyy odotetun mukaisesti ja turvallisuusmarginaalit ovat riittävät. Diplomityö tehtiin osana BESEP-projektia ja siinä tarkasteltiin determinististen, todennäköisyysperäisten ja inhimillisten tekijöiden turvallisuusanalyysien välisiä vuorovaikutuksia.

Lähtötietojen keräys

BESEP-projektissa julkaistiin yksittäistutkimuksia [2], jotka oli toteutettu eurooppalaisille ydinvoimalaitoksille. Diplomityö käsittelee tarkemmin neljää lopullisen lämpönielun menetys -yksittäistutkimusta. Lisäksi mukana oli kaksi tietylle ulkoiselle uhalle muodostettua yleistä yksittäistutkimusta.

Diplomityötä varten yksittäistutkimuksista kerättiin uudet suoritettut analyysit sekä niiden lähtötiedot, hyväksymiskriteerit, turvallisuusmar-



Kuva 1. Yleinen turvallisuussuunnittelun hallinnointisuunnitelma. Laatikot kuvaavat turvallisuussuunnittelun analyysijä sekä päätöksiä ja nuolet tiedon kulkua aktiviteetista toiseen.

Taulukko 1. Esimerkki yhden yksittäistutkimuksen kerätyistä tiedoista liittyen lopullisen lämpönielun menettämiseen ulkoisten uhkien vaikutuksesta.

Lähtötiedot	Uudet analyysit	Hyväksymiskriteerit ja turvallisuusmarginaalit	V&V-metodit
Tuulen mittausdata vuosilta 1977–2005. Lämpötilan mittausdata vuosilta 1830–2002.	Ulkoisten tapahtumien PRA	Suunnitteluperusteiden ylittäminen yli 50 % varmuudella suuremmalla tapahtumataajuudella kuin 1E-8/y. Tapahtumaa analysoitu 24 tuntia eteenpäin tapahtumahetkestä.	Tilastollinen data
Tapahtumien taajuudet, laitoksen jäähdytysfunktiot, inhimilliset rajoitukset	Deterministinen laitosvasteanalyysi	Turvallinen laitoksen alasajo alikriittiseen tilaan ja riittävä jälkilämmön poisto. Radioaktiivisen materiaalin päästöt eivät ole sallittuja. 72 tuntia itsenäistä toimintaa.	Termohydraulinen analyysi
Tuuli- ja lämpötiladata	Rakenteellinen analyysi	SFS-EN 1991-1-4:2005 standardin mukainen suunnittelu jäähdytystornille.	Termohydraulinen analyysi
Jäähdytystornin toiminta	Tehtäväanalyysi ja hätätilanneohjeiden luominen	Ohjeistus vähentää CDF 5E-8/y	Simulaattoriharjoitukset
Laitosmuutokset, laitoksen ohjeistus	Todennäköisyysperäinen laitosvaste	Jäähdytystornien lisääminen vähentää CDF 4E-6/y	PRA-malli

ginaalit ja käytetyt V&V (Verifiointi ja Validointi) -metodit. Taulukossa 1 on esitetty yhdestä yksittäistutkimuksesta kerätyt tiedot. Jokaisesta yksittäistutkimuksesta muodostettiin kaaviot, joissa esitettiin analyysien tiedonkulku, vaadittavat lähtötiedot tietyille analyyseille ja mihin analyysin tuloksia käytetään.

Diplomityön tulokset

Yksittäistutkimuksista kerättiin havaintoja ja tutkittiin yleisiä hyviä toimintatapoja. Huomattiin, että inhimillisten tekijöiden huomioon ottamiseen ei ollut selviä hyväksymiskriteerejä, mikä mahdollisesti oli johtanut siihen, että inhimillisten tekijöiden arviointiin ei ollut yhtenäistä linjaa yksittäistutkimuksissa.

Yksi vaihtoehto toimintatapojen kehittämiseen on tehdä laadukas ohjeistusta ottaen huomioon ihmisen toimintaa vaikuttavia tekijöitä (Performance Shaping Factors), jotka on yhdistetty mitattavaan indikaattoriin. Tällöin inhimillisen virheen mahdollisuutta voidaan arvioida paremmin [3]. Näin inhimillisten tekijöiden arviointi ei ole pelkästään laadullisen tarkastelun varassa ja inhimillisen virheen riskiä vähentävien toimenpiteiden toteutus on suoraviivaisempaa.

Lisäksi analysointiresurssien parempaa käyttöä voitaisiin tehostaa hyödyntäen SEMPiä (Safety Engineering Management Plan) eli turvallisuussuunnittelun hallinnointisuunnitelmaa [4]. SEMPin käyttö on tehostanut resurssien käyttöä esimerkiksi ilmailun ja avaruusteollisuuden aloilla. SEMPin muodostamisen ensimmäisenä vaiheena käydään läpi vaatimukset laitokselle, järjestelmille ja komponenteille, minkä jälkeen muodostetaan alustava suunnitelma siitä, millä analyyseillä vaatimusten toteutuminen voidaan osoittaa. Lisäksi käydään läpi vaadittavat lähtötiedot analyyseille, mikä mahdollisesti voi tarkoittaa lisää täydentäviä analyysejä.

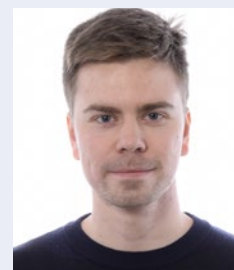
Yksittäistutkimusten pohjalta muodostettiin yleinen SEMP turvallisuusanalyyseille, joka yhdistää deterministiset, todennäköisyysperäiset ja inhimillisten tekijöiden turvallisuusanalyytit samaan suunnitelmaan. Yleinen SEMP on esitetty kuvassa 1. Tarkemman suunnitelman muodostamista varten tarvitaan asiantuntija-arvio tapaukseen sopivasta analyysistä.

Diplomityö on hyväksytty LUT-yliopistossa elokuussa 2023.

Viitteet

- [1] European Commission. Benchmark Exercise on Safety Engineering Practices. 2022. Saatavissa: <https://cordis.europa.eu/project/id/945138>
- [2] Bareith, A., Siklossy, T. Results of Self-Evaluation of Case Studies against Baseline Requirements. 2022. Saatavissa: <https://www.besep.eu/wp-content/uploads/2023/01/D3.3-Results-of-self-evaluation-of-case-studies-against-baseline-requirements.pdf>
- [3] Liu, P., Lv, X., Li, Z., Qiu, Y., Hu, J., He, J. Conceptualizing Performance Shaping Factors in Main Control Rooms of Nuclear Power Plants: A Preliminary Study. Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. EPCE 2016. Lecture Notes in Computer Science, vol 9736. Springer, Cham. Saatavissa: https://doi.org/10.1007/978-3-319-40030-3_32
- [4] NASA. Systems Engineering Handbook. NASA/SP-2007-6105 Rev1. Joulukuu 2007. Saatavissa: https://soma.larc.nasa.gov/mmx/pdf_files/NASA-SP-2007-6105-Rev-1-Final-31Dec2007.pdf

Kirjoittaja



DI Roope Lipiäinen

Design Engineer, Nuclear Safety
Fortum Power and Heat Oy
roope.lipiainen@fortum.com

Pelottava maailma

MAAILMA ON NYT PELOTTAVAMPI kuin viimeiseen 60 vuoteen. Kaksi ydinaseita omistavaa imperialistista suurvaltaa hakee valtaa maailmassa. Toinen niistä laajenee kaikin mahdollisin keinoin ja rikollisista aateloitunut eliitti ammentaa kulta- ja hopearahoja palkkasotureille ja ulkomaisille kätyreilleen. Käräivällisempi suurvalta huitoo syömätikuilla ja kalistelee sapeleita rajoillaan ja kehitysmaissa.

Kummankin pullistelijan johtajat lähettävät vastustajansa työleirille tai pudottavat heidät ikkunoista. He odottavat muiden valtioiden alistuvan. Ydinaseiden käytöllä uhkailu on jo osa normaalia poliittista puhetta. Pakolaisvirtoja, vaaleutisia ja taloudellista sortoa käytetään aseena pehmeitä länsijohtajia vastaan. Jääkarhuksi naamioitunut Venäjän karhu puree poikki kaasuputket ja tietoliikennekaapelit.

Ydintekniikan jättäiläisenä tunnettu Rosatom on lanseerannut käyttöön uuden laivamanööverin: ”venäläinen haistatus”. Siinä laiva kiihdyttää vauhtiaan ankkuri pohjaa lakaisten, kunnes ankkuri juuttuu ja ankkurikettinki katkeaa. Vaatimaton manööveri ei näyttävyydeltään vastaa Costa Concordia -risteilijän tekemää ”kunniakumarrusta”, mutta laiva pysyy ehjänä ja kapteeni vaurastuu.

Putin on varmistanut heiveröisen hahmonsa sijoittamisen vahakabineteissa Hitlerin viereen, historian pahimpien murhaajien ja sotarikollisten ryhmään. Lapsien pakkosiirto ja orjuuttaminen on ”näin meillä naapurissa”-henkeä, johon Suomessa on tutustuttu 1700-luvulta alkaen. Nopean tietohaun maailmassa historian ymmärrys jää helposti johtajien arvostelua, seksiä sekä Kiinan ja Ukrainan oikeita rajoja karttavan kiinalaisen tekoälyn tasolle.

Venäjällä taas ei ole rajoja, ainakin jos uskomme Vladimir-sedän opastusta maan koululaisille. Miksi emme uskoisi? Jos Kiina liittyy avoimesti roistovaltioiden joukkoon, yhä useammassa maassa joudutaan valitsemaan joko orjuus tai alentuva elintaso ja jatkuvat rajakonfliktit. Toivottavasti länsijohtajat saavat uutta puhtia ja pystyvät vastaamaan diktaattorien pompotteluun.

Montako amerikkalaista republikaania tarvitaan vaihtamaan hehkulamppu? – Ei yhtään. – Puolueen presidenttiehdokas sanoo, että se on vaihdettu ja kaikki hurraavat pimeässä.

Sitten energia-asioihin. Suomen vetytalouden strategiaraportti on julkaistu yhteenvetona virkamiesten, teollisuuden, teollisuusliittojen ja konsulttien arvioista. ”Raportti näkee tarpeelliseksi valtion koordinoivan roolin vetytalouden kehityksessä.” Miksi ihmeessä? Onneksi raportti esittää paljon mahdollisuuksia, joissa innovaatioita käyttämällä saataisiin kilpailukykyisiä ratkaisuja. Onneksi raportti esittää myös kehityksen tukemista poistamalla sääntelyä. Täysin purjein ulapalle vain; ei ohjata vetytalouden venettä kapeaan ojaan ministeriöiden varovaisen ja vatuloivan päätöksenteon mukaan.

Nokia nousi insinöörien innovaatioilla, kansainvälistä kokemusta omaavilla suomalaisilla tekijöillä ja muita tehokkaammalla projektiosaimisella. Se kasvoi mobiilipuhelinmarkkinoiden valtiaaksi. Markkina syntyi nopeasti, ja amerikkalaiset eivät ehtineet sulkea markkinoitaan lakimies- ja lakinaisarmeijoiineen. Kannattaa oppia historiasta, ettei opita vasta Siperiassa. Vetytaloutta kannattaa viedä eteenpäin ripeästi ja kaivaa riskirahaa maailmalta. Haasteita riittää, mutta ne on vain voitettava.

1990-luvulta alkaen ydinvoima ja tuuli-voima ovat olleet tarjolla vaihtoehtoina hiilen, kaasun ja öljyn polttamiselle. Tshernobylin sarkofagin sisällön vielä savutessa ei ydinvoimaa uskallettu ottaa suunnitelmiin. Ajan kuluessa 2000-luvun alussa ydinvoiman nousu lopulta alkoi, mutta sitten iski tsunami ja japanilaisten huolimattomuus. Ydinvoimahankkeet Euroopassa loppuivat ja viranomaisten dokumentti vaatimukset moninkertaistuivat.

Miksi Japanissa tehtiin moinen suunnitteluvirhe, ja miksi vanhempia laitoksia ei ajoissa



modernisoitu kestämaan 100 vuoden välein iskevät ulkoiset uhat? Selitys löytyy amerikkalaisilta kopioituista toimintamalleista ja maan kulttuurista. Lisäksi Japanissa ulkopuolisen yhteiskunnan arvot tulevat vasta yrityksen pelisääntöjen jälkeen.

Yrityksien sisällä on vahva hierakia ja erilaisia mielipiteitä ei arvosteta. Jatkuvan parantamisen kulttuuri ja käyttökokemuksista oppiminen on siis lähes mahdoton sovellettava. Mikä on kerran suunniteltu ja johdon hyväksymä, jää voimaan. Silloin johtaja ei menetä kasvojaan.

Kyllä japanilaisessa hotellissa: *“Stealing hotel towels is prohibited. If you are a person without such habits, please don't read this notice.”*

Suomalaisten onneksi Power-lehden valinta vuoden 2023 ydinvoimalaitokseksi, Olkiluoto 3, puksuttaa sähköä ja Onkalon rakentaminen turistikohteeksi edistyy. Pitkään tekeminen kesti, mutta käydessään luotettavasti Olkiluoto 3 markkinoi ydinvoimaa ja insinööritaitoa. Olisi tietysti saanut olla vuoden paras käyvä ydinvoimalaitos jo 2010.

OL3 ei siis ole hyvä merkki paalu, jos haluaa viedä suomalaista projektiosaamista maailmalle. Toisaalta, ranskalaisethan sen rakensivat – hyvässä ja pahassa. Kolmosen täysi 1600 MW:n sähköteho mahtunee vielä joskus verkkoon, mutta kaksikymmentä vuotta sitten otettu tehonkorotusvara jäänee käyttämättä.

Nyt Suomen ydinjäteosaamista tullaan katsomaan ja ihmettelemään. Onkalon uumeniin uskaltautuneet poliitikot markkinoivat kotonaan ajatusta ydinjätteiden kätkeämisestä syvälle maan alle. Silloin jälkipolvet olisivat turvassa vuosisatoja. Onkalo on sentään suomalaista tuotantoa, mitä nyt ruotsalaisten kanssa tehtiin vähän yhteistyötä.

Kohta on taas joulukuu, joten mitä joulupukki sanoo rovaniemeläisen hotellin tapaninpäivän illallisella? – ”Hyvästi Petteri!”

Yrjö Ydin

Kirjoittajakuvana: Pakinoitsijan nykyaikainen oma-kuvana tekoälyn maalamana.



Oikea jääkarhu (ei käytä ankkuria).

Palautusosoite:

Suomen Atomiteknillinen Seura
c/o Jussi Peltonen
PL 1000
02044 VTT

Osoitteenmuutokset:

sihteeri@ats-fns.fi



KANNATUSJÄSENET

FinNuclear ry

**Pohjoismainen
Ydinvakuutuspooli**

**Teknologian
tutkimuskeskus VTT Oy**

**Fortum Power
and Heat Oy**

Pohjolan Voima Oyj

Teollisuuden Voima Oyj

Konecranes Oyj

Posiva Oy

TVO Nuclear Services Oy

Platom Oy

Sweco Finland Oy

Westinghouse