

ATTS

2|2020

Vol. 49

YDINTEKNIikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

Valmiusharjoitukset turvallisuuden takaajina

Ydinlaitoksilla täytyy ennakkoon varautua turvallisuutta vaarantaviin tapahtumiin ja poikkeus-tilanteessa toimimista on harjoiteltava käytännössä.

Tutkimustilojen loppusiivous

VTT:n vanhan tutkimuslaboratorion käytöstäpoisto vaatii arkistojen kaivelua ja ahkeraa mittaamista, mutta tarjoaa tärkeitä oppia vastaisen varalle.

Ydinjätehuolto kehittyy yhteistyöllä

Suomalaiset tutkimusryhmät osallistuvat eurooppalaiseen ydinjätehuollon tutkimus- ja kehityshankkeisiin.



Julkaisija / Publisher

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

Johtokunta / Board**Puheenjohtaja / President**

DI Tuomas Rantala
puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja / Vice President

TkT Jaakko Leppänen
jaakko.leppanen@vtt.fi

Sihteeri / Secretary General

DI Lauri Rintala
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Pekka Kupiainen
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

Jäsenet / Board Members

MSc Ana Jambrina
ana.jambrina@lut.fi

FM Maria Lindholm
maria.lindholm@fortum.com

DI Simo Saarinen
simo.saarinen@iki.fi

TkT Vesa Tanskanen
vesa.tanskanen@stressfield.fi

Toimihenkilöt / Functionaries**ATS Young Generation**

DI Hanna Tynys
hanna.tynys@fortum.com

**Kansainvälisten asioiden sihteeri /
International Affairs**

DI Henri Ormus
henri.ormus@fennovoima.fi

Women in Nuclear Finland

FT Eveliina Muuri
eveliina.muuri@posiva.fi

www.vastaava / Webmaster

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

ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkL Eero Patrakka
eero.patrakka@kolumbus.fi

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

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

**Tieteellinen päätoimittaja /
Scientific Chief Editor**

TkT Henri Loukusa
henri.loukusa@gmail.com

**Ajankohtaispäätoimittaja /
Topical Chief Editor**

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

Ulkoasu ja taitto / Layout

Katariina Korhonen
Suunnittelutoimisto Creatus
katariina@creatus.fi

Toimitus / Editorial Staff

DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@gmail.com

DI Anna Korpinen
anna.korpinen@vtt.fi

DI Lauri Rintala
lauri.rintala@fennovoima.fi

FM Sophie Haapalehto
sophie.haapalehto@posiva.fi

Toimituksen yhteystiedot**ATS Ydintekniikka**

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

Painopaikka

Hämeen Kirjapaino Oy, Espoo

ISSN-0356-0473

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

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

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

Ilmaston poikkeustilalle ei ole loppua näkyvissä



Luultavasti aika monella lukijalla on itseni tavoin alkanut mitta täytyä uutisista ja reportageista, jotka koskevat alkuvuoden 2020 kansainvälistä häirikköä. Häirikön suomenkielinen yleisnimi alkaa k:lla, tarkempi nimi S:llä ja sen aiheuttama joskus vakavakin tauti C:llä. Jotta vältetään kuvaannollisen dekantterin ylläikähdykset, ajattelin kirjoittaa tämän tekstin mainitsematta noita sanoja. Ennakkovaroituksena täytyy todeta, että lehden myöhemmillä sivuilla sanat esiintyvät.

Jotkut ovat pitäneet häirikköä yhtenä ilmastomuutoksen merkinä. Riippumatta tämän väitteen paikkansapitävyydestä voidaan kuitenkin olla varmoja, että ilmastomuutos on etenemässä jopa tässä tilanteessa, kun ihmiskunnan toiminta on normaalia rajallisempaa. Kun parin vuosikymmenen aikana on lyöty erinäisiä tilastoennätyksiä ja aina sinne lämpimämpään suuntaan, niin ei voi enää ajatella

sattuman selittävän tilannetta. Etelä-Suomen lähes lumeton talvi 2019–20 on yksittäistä-paus, mutta ei kannata hämmästyä, jos tämä on talvisään osalta uusi normaali.

Kun pandemian aiheuttamasta poikkeustilasta aletaan palata normaalitilaan, ilmastomuutoksen torjunnan pitää nousta takaisin ykkösprioriteetille. Hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin IPCC:n raportit eivät jätä tässä tulkinnanvaraa, mutta silti kansainvälisten sitovien sopimusten ja rajoitusten aikaansaaminen näyttää vaikealta. Kevät 2020 on kuitenkin osoittanut, että tiukan paikan tullessa maailmassa on resursseja. Ilmastomuutos tuntuu kuitenkin aiheuttavan tiukan paikan liian hitaasti, jotta hallitukset osaisivat reagoida siihen riittävillä panostuksilla.

ATS:n jäsenenä tiedämme hyvin, että meillä on tarjolla oiva osaratkaisu ilmastomuutoksen torjuntaan. Ydinenergia on kuitenkin vuo-

sikymmenten aikana politisoitu ja ideologisoitu, joten joudumme edelleen taistelemaan, jotta se pysyy keinovalikoimassa. Viimeisimpänä efortina ATS allekirjoitti yhdessä sadan muun tieteellisen yhteisön kanssa julkilausuman, jolla pyritään saamaan ydinenergian asema vähähiilisenä energiantuotantomuotona tunnistetuksi EU:n kestävän rahoituksen taksonomiassa. Julkilausuma löytyy ATS:n verkkosivujen uutispalstalta.

Jarmo Ala-Heikkilä

Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Ilmaston poikkeustilalle ei ole loppua näkyvissä	3
Pääkirjoitus: YETI-työryhmän asettamat tavoitteet saavutetaan yhteistyöllä	4
Editorial: The objectives of YETI working group will be reached with cooperation	5
Pakina: Poikkeusoloissa turvallisuusajattelukin on poikkeuksellista ja asiat epätavanomaisia	34

Tapahtumat

Reaktoriövierailulla Tšekeissä	6
ATS:n vuosikokous 2020	9
Ajankohtaista	
”Vaikka käytännöt joustavat, turvallisuus säilyy”	10
VTT:n Otakaari 3:n laboratorio-osan käytöstäpoisto etenee rinnakkain FiR 1:n käytöstäpoiston kanssa	13
Katsaus valmiustoimintaan Loviisan voimalaitoksella	18

Tiede ja tekniikka

Recent Finnish Research Activities in European Cooperation on Safe Radioactive Waste Management	20
<i>Erika Holt, Markus Olin, Tiina Jalonen</i>	
Intercomparison Exercise for Difficult-To-Measure Radionuclides in Activated Steel	26
<i>Anumaija Leskinen, Susanna Salminen-Paatero</i>	
Väitöskirja: Ydinpolttoaineen termokemiallinen ja termomekaaninen mallinnus	31
<i>Henri Loukusa</i>	

YETI-työryhmän asettamat tavoitteet saavutetaan yhteistyöllä

**KANSALLINEN YDINJÄTEHUOLLON YHTEIS-
TYÖRYHMÄ** (YETI-työryhmä) luovutti loppura-
porttinsa elinkeinoministeri Katri Kulmunille vii-
me syksynä. Työryhmän tehtävänä oli selvittää
turvallisen ja kustannustehokkaan ydinjätehuol-
lon ja terveydenhuollossa, teollisuudessa ja tut-
kimuslaitoksissa syntyvän radioaktiivisen jätteen
huollon tavoitteita tuleville vuosille sekä tavoit-
teiden saavuttamiseksi tarvittavia toimenpiteitä.

Suomessa toimintansa yhteydessä ydin-
jätteitä tuottavat luvanhaltijat hoitavat ydinjä-
tehuollon tehtäviään vastuullisesti. Ydinjäte-
huollon kehitys on seurannut valtioneuvoston
vuonna 1983 tekemää periaatepäätöstä ydin-
jätehuollon tutkimus-, selvitys- ja suunnittelu-
työn tavoitteista. Periaatepäätöksessä asetetut
tavoitteet on tähän mennessä saavutettu hy-
vin. Seuraavana merkittävänä tavoitteena on
käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittaminen,
jonka tulee periaatepäätöksen mukaan alkaa
noin vuonna 2020.

Myös terveydenhuollossa, teollisuudessa ja
tutkimuslaitoksissa syntyvien radioaktiivisten
jätteiden huolto on Suomessa monelta osin
hyvin suunniteltua ja järjestettyä. Suomessa
on kuitenkin radioaktiivisia jätteitä, joille ei
tällä hetkellä ole loppusijoitussuunnitelmaa.
Esimerkiksi tällaisia ovat purettavat kontami-
noituneet tai aktivoituneet tutkimustilat ja -lait-
teet sekä käytöstä poistetut korkea-aktiiviset
umpilähteet, joita ei voida palauttaa ulkomaille.

Työryhmän mukaan on tärkeää, että kai-
kesta Suomessa olevasta ja tulevasta ra-
dioaktiivisesta jätteestä huolehditaan asian-
mukaisesti riippumatta radioaktiivisen jätteen
alkuperästä, tuottajasta tai tuotantotavasta.
Suomella tulee olla menettelyt, jotka katta-
vat kaikkien Suomessa syntyvien ydinjätteiden
ja muiden radioaktiivisten jätteiden kä-
sittelyn, varastoinnin ja loppusijoittamisen.
Tarkoituksenmukaista on, että jätteiden kä-
sittely ja loppusijoittaminen toteutetaan pää-

asiassa jo olemassa olevalla infrastruktuurilla.
Vähäisiä jäte-eriä tuottavilla lukuisilla luvanhal-
tijoilla ei ole tarkoituksenmukaista olla omia
jätteiden loppusijoitustiloja.

Ydinlaitosten infrastruktuurien käyttäminen
vaatii yhteistyötä luvanhaltijoiden välillä kauppa-
lisiin perusteisiin ja ydinlaitosten lupamenettelyjen
kehittämistä. Ydinlaitosten luvanhaltijoiden nä-
kökulmasta yhteistyö on mahdollista, jos sillä
ei ole vaikutusta yhtiöiden sähköntuotantoon
tai toiminnan yhteiskunnalliseen hyväksyttä-
vyyteen. Ydinlaitosten lupien muuttaminen on
kuitenkin hidasta ja kallista, ja se hankaloittaa
yhteistyötä muiden luvanhaltijoiden kanssa.

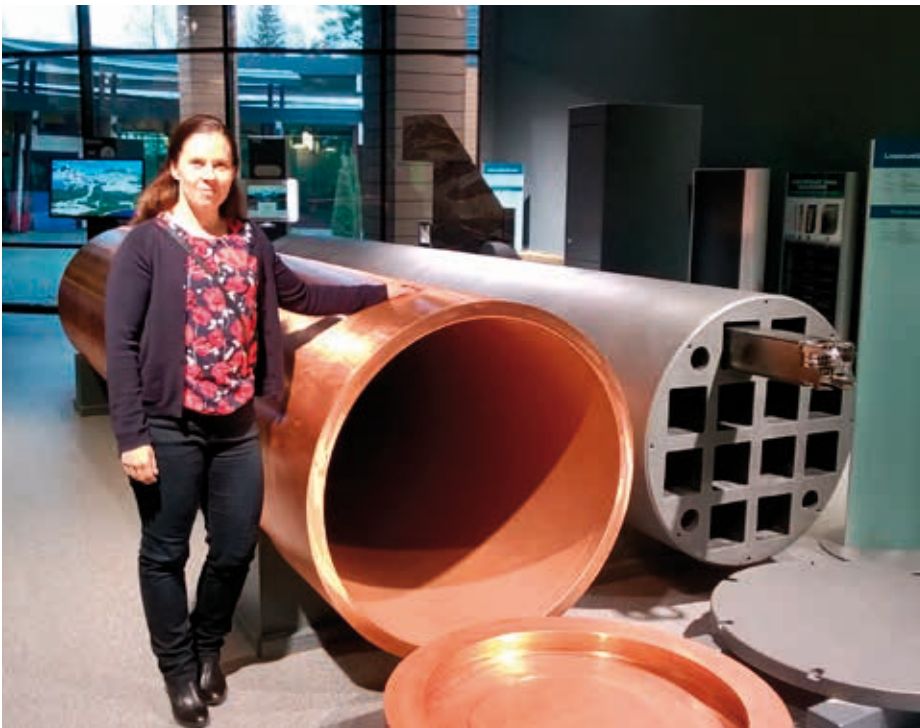
Yhteistyön mahdollistamiseksi lupamenet-
telyjen kehittämisessä tulee lainsäädännön kei-
noin tavoitella riittävää joustavuutta, säilyttäen
kuitenkin ydinenergiain tärkeät periaatteet, ku-
ten turvallisuuden riskitietoisuus, oikea päätök-
senteon taso, sijoituspaikkakuntien vaikuttamis-
mahdollisuudet ja yhteiskunnan osallistuminen.
Lainsäädäntöä rajoittavampi tekijä voi olla myös
vuosien varrella omaksuttu käytäntö, miten lupia
on haettu ja esitetty päätettäväksi. Tähän käytän-
töön voidaan vaikuttaa jo tänä päivänä.

Myös säteilyominaisuuksiltaan vaaratto-
maksi todetun valvonnasta vapautetun jätteen
huoltoa kannattaa edelleen edistää. Tällainen
jäte kuuluu jätelain mukaiseen valvontaan.
Metallisulattamot, polttolaitokset ja kaatopaikat
kokevat kuitenkin valvonnasta vapautet-
tujen jätteiden vastaanottamisen hankalaksi,
sillä jätteeseen liittyy sen syntytavasta johtuvia
ennakkoluuloja. Tarvitsemme lisää keskuste-
lujia sekä tiedon ja kokemusten jakamista.

YETI-työryhmän työskentelyn aikana va-
kuutuin siitä, että meillä on Suomessa yh-
teinen tahto hoitaa asioita kuntoon. Myös
tavoitteiden saavuttamiseksi tarvittavien toi-
menpiteiden toteuttaminen on alkanut ilah-
duttavan hyvin. Uskon, että yhteistyöllä saa-
vutamme asettamamme tavoitteet.

TkT Linda Kumpula

Erityisasiantuntija,
YETI-työryhmän pääsihteeri
Työ- ja elinkeinoministeriö



The objectives of YETI working group will be reached with cooperation

THE NATIONAL COOPERATION GROUP ON NUCLEAR WASTE MANAGEMENT (YETI) handed over its final report to Minister of Economic Affairs Katri Kulmuni last autumn. The task of the working group was to investigate objectives for safe and cost-effective management of nuclear waste as well as radioactive waste produced in health care, industry and research institutes in the coming years. Moreover, the measures to reach these objectives were under scrutiny.

The licence holders that produce nuclear waste during their operations in Finland are managing the waste in a responsible manner. The development of nuclear waste management has followed the decision-in-principle of the government, made in 1983, that specified the goals for research, investigations and planning. These goals have been reached quite well so far. The next significant milestone is to commence final disposal of spent nuclear fuel, which according to the decision-in-principle of 1983 should happen around year 2020.

Furthermore, the management of radioactive waste produced in health care, industry and research institutes is generally well planned and organized in Finland. There is, however, some radioactive waste for which there is no final disposal plan. Examples are contaminated or activated research facilities and equipment that are to be decommissioned, as well as high-activity sealed radioactive sources that cannot be returned to their foreign manufacturer.

The YETI working group emphasizes that all radioactive waste in Finland, now and in the future, must be taken care of regardless of its origin, producer or production method. Finland must have defined procedures that cover handling, storing and final disposal of all nuclear and radioactive waste in this country. It is appropriate to generally utilize existing infrastructure for waste management and final disposal. It is not adequate to create dedicated final disposal facilities at licence holders that produce minor amounts of waste.

Utilizing existing infrastructure at nuclear facilities calls for cooperation between licence holders on a commercial basis and development of licencing procedures of these facilities. From the perspective of nuclear facilities, cooperation is possible if it does not affect their power production nor their social acceptance. However, making changes to the licences of nuclear facilities requires a relatively slow and expensive licence procedure, which makes cooperation among waste producers difficult.

In order to enable cooperation, licence procedures could be developed by legislative means. Efforts should be made to ensure adequate flexibility while upholding the important principles of the Nuclear Energy Act such as risk-awareness, the correct level of decision-making, the opportunity of locals to influence, and society's participation. A more restricting factor than legislation may actually be practices that have been adopted over the years on how licences are applied for and how they are presented for decision making. These practices can be influenced already today.

Additionally, management of radioactive waste that has been exempted from supervision due to an insignificant radiation risk should be advanced. Such waste belongs under regulations of the general Waste Act. However, metal foundries, incineration plants and waste dumps find receipt of exempted radioactive waste complicated, because there are prejudices against this kind of waste. We need more discussion and sharing of information and experiences.

Under the mandate period of the YETI working group, I became convinced that we have a common will in Finland to take care of complicated matters. Also the start of implementing the planned measures has been most promising. I believe that cooperation is the key to reach our objectives.

Dr. Linda Kumpula

Senior Specialist, secretary general
of the YETI working group
Ministry of Economic Affairs and Employment

Reaktoriyövierailulla Tšekeissä

Yhteensä kuusi opiskelijaa Lappeenrannasta ja Otaniemestä pääsi viikoksi Prahan teknillisen yliopiston VR-1-koulutusreaktorille suorittamaan reaktoritöitä Aalto-yliopiston järjestämällä kurssilla. VR-1 on nolllateholla toimiva kevytvesireaktori, jonka suunnittelussa on huomioitu helppo pääsy reaktorisydämeen opiskelijoiden ja ydinvoimateollisuuden henkilöstön kouluttamiseksi. Vierailun loppuhuipennuksena jokainen osallistuja pääsi itse ajamaan reaktoria henkilökunnan valvonnassa.

Teksti: Mikko Turunen & Riku Leppänen

TOISTA KERTAA JÄRJESTETTY VR-1-reaktorityökurssi alkoi Otaniemessä puolipäiväseminaarilla, jossa jokainen osallistuja esitteli tarkemmin yhden tulevan viikon aikana suoritettavista reaktoritöistä. Tämän kurssin tarkoituksena oli opettaa reaktorfysiikkaa oikealla reaktorilla, ja tekemissämme reaktoritöissä tutustuttiin muun muassa neutroni-ilmaisimien toimintaan, reaktorikinetikkaan, neutronivuon määrittämiseen sekä reaktorin kriittisyyden saavuttamiseen.

Koulutusreaktori VR-1

Itse reaktori koostuu yleensä 16–21 polttoainepusta ja 5–7 säätösauvasta, joista

kolmea käytetään vain reaktorin hätäsulkuun, kahta reaktorin operoimiseen ja nolllasta kahteen kokeellisina sauvoina reaktorin senhetkisen konfiguraation mukaan. Reaktorisydän on reaktorialtaassa, jossa vesi toimii moderaattorina, heijastinmateriaalina sekä jäähdytteenä.

Suorittamamme reaktoriyöt pohjautuivat pitkälti erilaisten mittauksien tekemiseen ja tulosten analysointiin. Reaktorin allasrakenteen ansiosta reaktorisydämeen oli mahdollista sijoittaa neutroni-ilmaisimia haluttuihin sijainteihin eri puolille reaktorin konfiguraatiota. Siten se mahdollisti esimerkiksi aksiaalisen neutronivuojakauman mittaamisen halutuissa kohdissa.

Praha

Tapasimme maaliskuisena sunnuntaiaamuna Helsinki-Vantaan lentokentällä, josta matkamme jatkui kohti Prahaa. Lentokentältä siirryimme pikkubussilla hotelliimme, joka sijaitti kävelymatkan päässä reaktorilta. Jätettyämme laukut huoneisiin meillä oli hyvin aikaa viettää loput sunnuntaipäivästä Prahan turistinähtävyyksiä ja vanhaa kaupunkia kiertelemällä.

Hintataso oli paikallisissa ravintoloissa hyvin edullinen, joten ulkona syöminen oli mahdollista jokaisena iltana. Tulevat päivät maanantaista perjantaihin vietimme reaktorilla, mutta iltaisin meillä oli vapaata ohjelmaa.

Heti maanantaiaamun esittelytilaisuudessa saimme matkamuiستoksi reaktorihenkilökunnan kirjoittaman reaktoriyökirjan omia kirjahyllyjämme koristamaan. Kirja sisälsi selostukset kaikista reaktorilla suoritettavista standarditöistä. VR-1-koulutusreaktoria hyödynnetään paljon paikallisten opiskelijoiden opettamisessa ja moni reaktorin henkilökunnasta toimiikin yliopistolla myös ydintekniikan kurssinpitäjinä. Saamamme koulutus oli ensiluokkaista ja reaktoritöiden ohjaajat ammattitaitoisia.

Reaktoriyöt

Ennen reaktorihalliin menemistä ylle puettiin aina laboratoriotakki, kenkien päälle suojaimet sekä taskuun dosimetri. Työpäivän aluksi ko-koonnuimme aina valvomon yläpuolella sijait-



TkK Mikko Turunen
Opiskelija
LUT-yliopisto
mikko.turunen@student.lut.fi



TkK Riku Leppänen
Opiskelija
LUT-yliopisto
riku.leppanen@student.lut.fi

sevaan luokkatilaan käymään läpi teoriaosuuden päivän reaktoritöistä, joiden aikana työn ohjaajat testasivat valppauttamme kysymyksillä. Lopussa oli aikaa myös keskustelulle ennen siirtymistä käytännön mittauksiin.

Teoriatunnin jälkeen reaktoriyöt toteutettiin pareittain VR-1-henkilökunnan ohjaamana ja valvomana. Viimeistään tässä vaiheessa teoriatunnilla läpikäytyt asiat tulivat sisäistetyksi jokaiselle. Mittauksien ja tuloksien jälkeen aiheesta ja johtopäätelmistä keskusteltiin oppimiskokemuksen varmistamiseksi. Jokainen osallistuja sai myös kurssinvetäjältä tehtäväksi kirjoittaa selostuksen yhdestä reaktoriyöstä, joten kyseisen työn aikana kannatti pysyä erityisen valppaana.

Päivän päätteeksi reaktorihallista poistuttiin kontaminaation varalta henkilömonitorin kautta sekä kirjaamalla ylös dosimetrin näyt-

tämä säteilyannos. Annos ei poikennut milloinkaan nolasta, sillä säteily reaktorihallissa oli niin vähäistä.

Neutronimittauksia ja operointia

Mittauksissa tärkein käyttämämme mittari koko kurssilla oli neutroni-ilmaisimien. Heti ensimmäisen reaktoriyön teoriaosuudessa tutustuimmekin luontevasti juuri neutroni-ilmaisimien toimintaperiaatteisiin ja ominaisuuksiin. Teoriaosuuden jälkeen käytännön mittauksissa kalibroimme kolme erilaista kaasutäyteistä neutroni-ilmaisinta, joita käytimme myöhemmissä töissä.

Kuluneen viikon reaktoritöiden aikana määritimme muun muassa reaktorin aksiaalisen neutronivuojakauman muuttamalla neutroni-ilmaisimien sijaintia tasaisin välimatkoin reaktorisydämessä. Yhden työn aikana tutkimme paljonko säätösauvojen siirtäminen vaikuttaa reaktorin kokonaisreaktiivisuuteen.

Reaktorikinetiikkaan tutustuimme tutkimalla reaktorin käyttäytymistä alikriittisessä, kriittisessä ja ylikriittisessä tilassa. Yhtenä iltapäivänä suoritimme kriittisyyskokeen, jossa mallinnettiin uuden reaktorin ajamis-

ta kriittiseen tilaan turvallisesti ensimmäistä kertaa.

Kaikista mieleenpainuvimmaksi reaktoriyöksi jokaiselle meistä jäi kuitenkin VR-1-reaktorin ohjaus- ja turvajärjestelmien oppitunti. Tunnin huipennuksena pääsimme itse ohjaamaan reaktoria valvotusti. Vaikka saimme jatkuvasti ohjeita, oli jokaisella meistä silti pieni pelko reaktorin ajamisesta vahingossa hätäsulkuun.

Haastavinta reaktorin operoimisessa oli säätösauvojen ohjaaminen manuaalililassa, jolloin tietokonejärjestelmä ei enää kompensoinut reaktiivisuuden muutosta automaattisesti. Operoijan täytyi samanaikaisesti ohjata säätösauvoja sekä säätää reaktoritehon kasvunopeuden rajoja, sillä liian nopea tehonkasvu johtaisi hätäsulkuun.

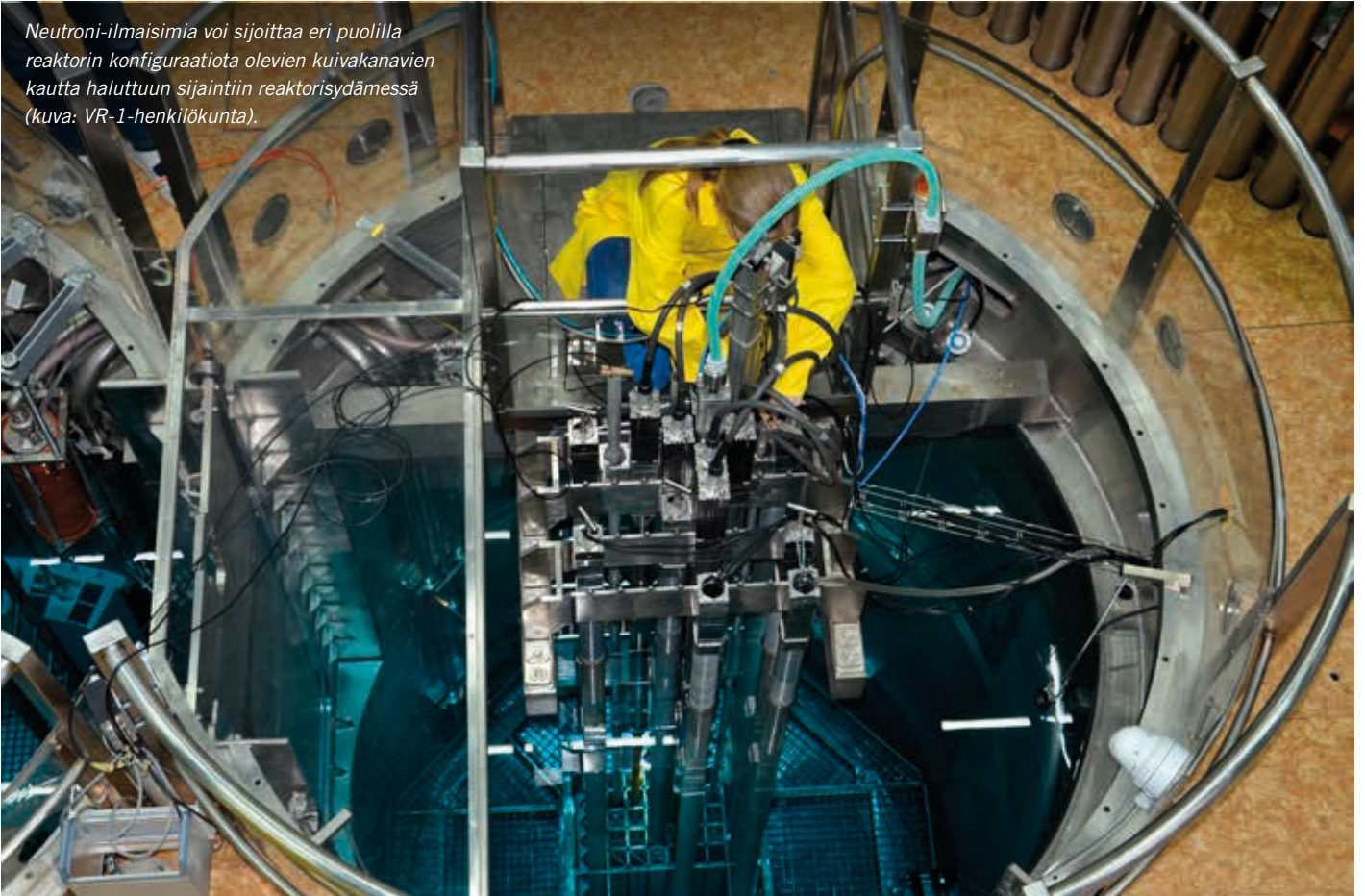
Tunnin lopuksi meille esiteltiin turvajärjestelmän enemmistöperiaatetta. Neutroni-ilmaisimien turvarajoja tehonkasvulle maddallettiin, minkä jälkeen reaktori ajettiin tarkoituksellisesti hätäsulkuun demonstraationa. Enemmistöperiaatteen mukaisesti kahden ilmaisimen kolmesta ylittäessä turvarajan kaikki hätäsulkausauvat tippuivat reaktoriin ajaen sen turvalliseen tilaan.

Reaktorivierailulle osallistui kurssinvetäjän lisäksi kolme opiskelijaa sekä Aallosta että LUT-yliopistosta (kuva: VR-1-henkilökunta).



TAPAHTUMAT

Neutroni-ilmaisimia voi sijoittaa eri puolilla reaktorin konfiguraatiota olevien kuivakanavien kautta haluttuun sijaintiin reaktorisydämessä (kuva: VR-1-henkilökunta).



Jatkossa

Kuluneen viikon päätteeksi reaktorin henkilökunta oli kiitollinen osoittamastamme mielenkiinnosta ja aktiivisuudesta reaktoritöiden aikana. VR-1-reaktorilla vierailee koulutustilaisuuksissa paljon alan opiskelijoita ja ydinvoimateollisuuden henkilöstöä eri puolilta maailmaa, joten he ottivat mielellään palautetta vastaan myös meiltä koulutuksen parantamiseksi jatkossa.

Kokonaisuudessaan reaktorivierailumme oli erittäin onnistunut ja antoi jokaiselle osallistujalle unohtumattoman elämyksen. Aalto-yliopisto pyrkii järjestämään vastaavan reaktoriyökurssin jatkossakin, joten voimme lämpimien mielin suositella osallistumista kaikille reaktorfysiikan opiskelijoille. ☸

Kaarlensilta on yli puoli kilometriä pitkä goottilaistyylinen kävelysilta. Se on Prahan tunnetuimpia nähtävyyksiä yhdessä taustalla näkyvän Prahan linnan kanssa (kuva: Jarmo Ala-Heikkilä).



ATS:n vuosikokous 2020

Koronavirusepidemiasta johtuen Suomen Atomiteknillisen Seuran vuosikokous järjestettiin poikkeuksellisesti ainoastaan etäyhteydellä maaliskuun 18. päivänä. Etäkokouskäytäntöjä ei ole määritelty seuran säännöissä, mutta patentti- ja rekisterihallituksen suositus oli siirtää kaikki yhdistysten vuosikokoukset sähköisiksi epidemian aikana. Altistuksen minimointia toivottiin myös voimayhtiöiden yhteydenotoissa ennen kokousta. Kokousten päätösvaltaisuuteen tuli erillinen väliaikainen laki kevään aikana (laki 290/2020).

Teksti: Antti Rätty

VUOSIKOKOUKSEN OSALLISTUJIA kirjattiin 16 henkeä, mutta pelkästään puhelimitse osallistuneiden määrää ei voitu varmentaa. Poikkeustilanteen vuoksi kokouskutsussa mainittu Linda Kumpulan (TEM) esitys YETI-työryhmän tuloksista lykättiin jossain myöhemmässä jäsentilaisuudessa esitettäväksi.

Sääntömääräisinä asioina kokouksessa käsiteltiin seuran toimintakertomus ja tilinpäätös vuodesta 2019 sekä toimintasuunnitelma ja talousarvio vuodelle 2020. Vuonna 2019 seuran toiminta oli erityisen aktiivista ja tapahtumaosallistumisia oli yli 1300 kpl. Suurin tekijä oli loka-kuussa järjestetty ja hyvää palautetta kerännyt Suomalaisen ydintekniikan päivät -konferenssi. Lisäksi Young Generation ja Women in Nuclear ovat kasvattaneet toimintaansa.

Seuran jäsenien kokonaismäärä kasvaa hitaasti, mutta valitettavasti joka vuosi jäsenrekisteristä joudutaan poistamaan paljon ihmisiä maksamattomien jäsenmaksujen vuoksi.

Kehotamme jäsenistöä tarkistamaan erityisesti, että mahdollisesti muuttuneet yhteystiedot on ilmoitettu sihteerille.

Tilinpäätöksen tulos jäi suunnitellusti ylijäämäiseksi. Johtokunnassa pidettiin tieteelliselle seuralle tärkeänä tehdä Suomalaisen ydintekniikan päivistä jatkuva tapahtuma ja seuran talous järjestetään siten, että seuraava konferenssi mahdollistetaan väli vuosina rahastoiduilla ylijäämillä. Tavoitteena on järjestää konferenssi seuraavan kerran vuonna 2022.

Toimintasuunnitelma vuodelle 2020 oli laadittu ennen virusepidemiaa ja kokouksen aikana todettiin, että valitettavasti kevään tapahtumat joudutaan lykkäämään syksyyn. Tarkoituksena olisi kuitenkin saada ainakin isoimmat perinteiset tapahtumat kuten syysseminaari järjestettyä normaalisti.

Lisäksi kaikki toimintaryhmät (YG, Seniorit ja Women in Nuclear) jatkavat toimintaansa mahdollisuuksien mukaan. Mikäli epidemiaan liittyvät rajoitukset pitkittyvät, johtokunnassa on

harkittu myös esimerkiksi iltaseminaarien järjestämistä kokonaan sähköisten kanavien kautta. ATS Ydintekniikka -lehteä voidaan julkaista epidemiatilanteessakin lähes normaalisti.

Johtokunnan kokoonpanossa sihteeriksi Antti Rädyn sääntömääräiset toimikaudet tulivat täyteen. Uusina jäseninä johtokuntaan valittiin Maria Lindholm (Fortum) ja Ana Jambrina (LUT). Vanhoina jäseninä johtokunnassa jatkavat edelleen puheenjohtaja Tuomas Rantala (TVO) ja jäsenet Jaakko Leppänen (VTT), Pekka Kupiainen (Posiva), Lauri Rintala (Fennovoima), Vesa Tanskanen (LUT) ja Simo Saarinen.

Seuran taloudenhoitajana jatkaa Pekka Kupiainen. Uudeksi sihteeriksi valittiin Lauri Rintala, joka on kuulunut johtokuntaan vuosikokouksesta 2019 alkaen. Hänen esittelynsä löytyy ATS Ydintekniikka 1/2019:stä.

Sääntömääräisten asioiden käsittelyn jälkeen jaettiin akateemikko Erkki Laurilan (1914–1999) mukaan nimetty palkinto ATS Ydintekniikka -lehden menneen vuoden parhaasta artikkelista. Palkinnon kriteereinä ovat mm. artikkelin selkeys, otsikointi ja kieliasu, asian tieteellinen syvällisyys ja tehdyn taustatyön määrä. Palkinnon saaja päätetään lehden toimituskunnan äänestyksellä.

Erkki Laurila -palkinto vuoden 2019 parhaasta artikkelista jaettiin Thomas Kerstille artikkelista "Optical detection of alphas". Johtokunta vahvisti toimituksen valinnan kokouksessaan 2/2020 ja päätti palkintosummaksi 500 euroa. Voittanutta artikkelia kuvattiin muun muassa seuraavasti: "Artikkelissa on maltettu keskittyä aiheen taustoittamiseen kunnolla sen sijaan, että olisi esitetty tulosten detaljeja. Erittäin lukijaystävällinen lähtökohta siis. Artikkelin kieliasu ja otsikointi ovat hyviä ja tieteellinen uutuusarvo korkea. Joka tapauksessa harvoin väitöstyön lopputuloksena on potentiaalinen läpimurto alfa-säteilyn havaitsemiseen."



FM Antti Rätty
Tutkija
VTT
antti.ratty@vtt.fi

ANA JAMBRINA is a junior researcher at LUT University. She earned a BSc./MSc. in Industrial and Nuclear Engineering at Polytechnic University of Valencia (Spain) and a MSc. in Nuclear Engineering at Pennsylvania State University (USA). She gathered research experience through her appointments at North Carolina State University, as well as Oak Ridge, Argonne and Idaho National Laboratories. Her areas of research interest include development of next generation of stochastic/deterministic reactor physics methods, multi-scale/multi-physics reactor analysis and advanced reactor design.



OLEN MARIA LINDHOLM, aloitin loppuvuodesta 2019 vanhempana asiantuntijana Fortumin ydinturvallisuusosastolla. Aikaisemmin työskentelin TVO:lla kymmenisen vuotta säteilyturvallisuuden parissa. Koulutukseltani olen fyysikko (FM) ja valmistunut Jyväskylän yliopistosta. ATS:n toiminta on minulle jo ennestään tuttua mm. ATS YG:n kautta. Vuosina 2012–2013 olin ENS YGN:ssä Suomen edustaja.



”Vaikka käytännöt joustavat, turvallisuus säilyy”

ATS Ydintekniikka selvitti, kuinka Suomen ydinvoimayhtiöt sekä Säteilyturvakeskus (STUK) ovat varmistaneet turvallisen ja jatkuvan sähköntuotannon sekä muuttaneet toimintatapojaan COVID-19-taudin leviämisen ehkäisemiseksi toimipisteillään. Viestintäpäällikkö Pasi Tuohimaa (Teollisuuden Voima Oy), viestintä- ja PR-johtaja Sakari Kotola (Fennovoima Oy) ja viestintäpäällikkö Pia Fast (Fortum Power and Heat Oy) sekä STUKin apulaisjohtaja Tomi Routamo vastasivat kysymyksiimme huhtikuun aikana.

Teksti: Sophie Haapalehto **Kuvat:** Tapani Karjanlahti, TVO

NYKYKÄSITYKSEN MUKAAN Kiinasta lähtöisin oleva koronavirus mullisti miljoonien henkilöiden arjen muutamassa viikossa, jopa muutaman päivän sisällä. Maaliskuussa ydinenergia-alakaan ei välttynyt Suomen hallituksen asettamilta rajoituksilta koronaepidemian leviämisen ehkäisyyn. Rajoitukset muuttivat useita rutiineiksi muodostuneita käytäntöjä ja tapoja, sekä työ-

elämässä että jokaisen arjessa ja vapaa-ajalla. Hallituksen päätös listata mm. sähköntuotanto ja ydinturvallisuus kriittisiksi toimialoiksi on varmasti helpottanut työntekijöiden arkea mahdollistamalla näiden toimialojen työntekijöiden nuorempien lasten osallistumisen lähiopetukseen kouluissa. Energiateollisuus ry tiedotti myös, ettei koronakriisi ole vaikeuttanut sähkövarmuutta eikä verkkoyhtiöiden investointeja.

Teollisuuden Voima ilmoitti lyhennetystä vuosihuollosta

TVO:lta kerrottiin 23. maaliskuuta, että vuoden 2020 OL1-laitoksen vuosihuollot toteutettaisiin aiempaa lyhyempinä ja OL2:n polttoaineseisokin aikataulu tulisi olemaan suunnitelmien mukainen. Lisäksi viestintäpäällikkö Pasi Tuohimaa kertoo, että TVO-konsernissa on jo maaliskuun alkupuolelta lähtien rajattu kaikkea matkustamista ja siirretty mahdollisuuksien mukaan etätöihin. Konsernin järjestämiä tilaisuuksia on karsittu ja välttämättömiä koulutuksia on siirretty sähköiseen toimintaympäristöön.

Mittavia toimia on tehty sekä työpaikkaruokailussa, toimipisteiden puhtaudessa ja siisteydessä että ylimääräisten kontaktien välttämässä eri alueiden välillä asettamalla

TVO:n OL2:n vuosihuollot suoritettiin erityisjärjestelyin. Esimerkiksi hengityssuojainten käyttöön oli annettu tarkat ohjeistukset.

kulkurajoituksia. Merkittäviä uusia työtapoja ja -käytäntöjä on otettu käyttöön nopealla aikataululla. Kaikki yleisötapahtumat ja -vierailut Olkiluodossa on nyt toistaiseksi peruttu.

Vappuna TVO päivitti tiedotusta liittyen OL1:n vuosihuollon toimenpiteisiin. Erityisesti suojarusteiden käyttöön sekä ulkomailta saapuvien työntekijöiden karanteeniin on otettu käyttöön erityistoimenpiteitä. Ulkomailta arvioidaan saapuvan noin sata erityisosaaajaa ja heille on järjestetty karanteenin omainen 14 vuorokauden järjestely, johon on lisätty vielä taudin testaukset. Vuosihuoltoon liittyviä toimia on porrastettu mahdollisuuksien mukaan, jotta henkilömäärät pysyisivät alhaisina kaikissa tiloissa.

Fennovoima peruu syyskuun Hanhikivi 1 -työmaavierailupäivän

Myös Fennovoima kertoo pyrkivänsä ottamaan COVID-19-pandemian huomioon kaikessa toiminnassaan. Fennovoiman viestintä- ja PR-johtaja Sakari Kotola kertoo, että koko henkilöstö tekee mahdollisuuksien mukaan etätöitä ja samoissa tiloissa työskentelevien asiantuntijoiden määrää rajoitetaan. Yhteydenpidot suoritetaan mahdollisimman paljon sähköisesti, eikä henkilöstö osallistu ulkoisiin koulutuksiin, kokouksiin tai tilaisuuksiin.

Kotola kertoo myös Hanhikivi 1 -projektin kuulumisia. Hanhikivi 1 -suunnittelutyö ja luvistustarjous valmistelu etenee yhteistyössä laitostoimittajan kanssa. Työmaalla valmisteltavat rakentamistyöt ja niihin välttämättömät koulutukset jatkuvat noudattaen henkilömäärien rajoituksia kokouksissa sekä koulutuksissa.

Samalla tavalla kuin Olkiluodossa, vieraiden pääsyä on rajoitettu toistaiseksi kaikissa Fennovoiman toimitiloissa Helsingissä ja Pyhäjoella. Myös Hanhikivi 1 -työmaan vierailuiden järjestäminen on pysäytetty ja syyskuun työmaavierailupäivä on peruttu. Kotola muistuttaa, että vuoden 2019 vierailupäivässä kävi 3900 henkeä ympäri Suomea, eikä pandemiatilanteessa ole vastuullista järjestää samanlaista tapahtumaa tänä syksynä. Hankkeesta kiinnostuneille sidosryhmille avattu Pyhäjoen keskustan toimisto on myös toistaiseksi suljettu.

Fennovoima ja laitostoimittaja ovat perustaneet työryhmän RAOS-yhtiön kanssa seuraamaan pandemian vaikutuksia hankkeen kokonaistoimitukseen. Kotola kertoo huhtikuun lopulla, että hanke etenee aikataulun



FM Sophie Haapalehto
Kalliomekaanikko
Posiva Oy
sophie.haapalehto@posiva.fi



mukaisesti, mutta pandemian mahdollisia tulleita vaikutuksia on vaikea ennakoita, sillä ne riippuvat pandemian laajuudesta ja kestosta.

"Loviisan voimallisuuden dokumentaatio ei ole koskaan ollut näin hyvin ajan tasalla!"

Fortumin viestintäpäällikkö Pia Fast kuvaa Fortumin työskentelyn muuttaneen monelta osin muotoaan pandemian myötä. Yhtiössä varauduttiin jo ennen hallituksen liikkumisrajoituksia työmatkustamisen rajoittamisella sekä perumalla vierailuryhmien käynnit. Jopa tämän vuoden YJK-kurssin viimeinen kurssi- viikko keskeytettiin Keilaniemen tiloissa koronaviruksen takia. Voimayhtiö on perustanut voimallisuuden divisioona- ja konsernitason pandemiatyöryhmät, jotka jakavat tilannekuvaa ja ohjeistuksia ja koordinoivat toiminnan suunnittelua. Fast toteaa, että yhtiön toiminta on sujunut kevään aikana hyvin, koska poikkeustilanteita varten suunnitellut menettelyt ja toimittavat ovat olleet etukäteen valmiina.

Loviisassa laitosten käyttöorganisaatio on jatkanut työtään, eikä vuorotyötä tai päivystystoimintoja ole muutettu pandemian aikana. Vuorohenkilökuntaa suojataan muun muassa järjestämällä ruokailut valvomoissa ja aamukokoukset etäkoukuksina. Voimallisuuden henkilöstöravintolassa riittävät turvavälejä päästään noudattamaan vähentämällä asiakaspainetta. Käsisidettä on tarjolla tiloissa, joissa ihmisiä liikkuu ja työskentelee.

Kuten TVO:lla, Fortumin koulutukset suoritetaan verkossa ja lähiopetus siirretään syksyyn. Yhteyksiä sidosryhmiin pidetään verkkotapaamisten muodossa ja muita sidosryhmätapaamisia on siirretty tulevaisuuteen. Uudenmaan liikkumisrajoitukset toivat osalle henkilöstöstä tarkastuspisteen työmatkan varrelle.

Fast kertoo, että kaikki etätöihin pystyvät henkilöt siirtyivät tekemään töitä kotona. Toimistotyöntekijöille siirtyminen etätöihin oli vaivatonta, mutta usealle voimallisuuden työntekijälle etätöihin siirtyminen tuli nyt kevään aikana ensimmäistä kertaa eteen. Myös niille henkilöille, joiden varsinaista työtä ei voi siirtää etätöiksi, oli tarjolla mahdollisuuksien mu-

kaan etätöivaihtoehto. Esimerkiksi asentajat ovat tehneet kotoa käsin syksyn vuosihuoltojen tuleviin asennuksiin liittyvää suunnittelutyötä. Tämän ansiosta syksyn vuosihuoltojen suunnittelu etenee toistaiseksi normaalisti. Yhtiö luottaa saavansa Olkiluodon kevään vuosihuolloista paljon kokemuksia ja hyviä käytäntöjä omaa vuosihuoltosuunnitteluansa varten.

Kaiken kaikkiaan Fortumissa etätö on ollut organisaatiossa positiivinen kokemus ja siihen liittyvät tiedonjakamiset ja yhteydenotot ovat onnistuneet digitalisaation ja verkkotyökalujen ansiosta. Etätöiden vaikutuksena Fortumin viestintäpäällikön mukaan dokumentaatio ei ole kuulemma koskaan ollut näin hyvin ajan tasalla ja sairauspoissaoloja on ollut poikkeuksellisen vähän. Fast vakuuttaa, että "tässä poikkeustilanteessa olemme saaneet uutta ja arvokasta työkokemusta, josta on varmasti hyötyä myös jatkossa."

STUK suorittaa osan tarkastuksistaan etäyhteyksien avulla

STUKin apulaisjohtaja Tomi Routamo kuvailee koronaepidemian vaikutuksia STUKin ja ydinvoimayhtiöiden työhön ennenkokemattomiksi. Arki muuttui hyvin nopeasti tilanteeksi, jossa sekä työntekijöiden terveyden että energiantuotannon turvaaminen vaativat poikkeustoimia. Routamo on myös huomannut, että jokainen organisaatio on joutunut ottamaan käyttöönsä uusia toimintatapoja ja järjestelyjä, joilla on hoidettu vastuut uudesta tilanteesta huolimatta.

Routamo muistuttaa, että poikkeustilanteisiin varautuminen on keskeinen osa ydinlaitosten turvallista toimintaa. Siksi ydinvoimalliset Suomessa ottivat nopeasti käyttöön ohjeistuksia, joilla ehkäistä viruksen leviämistä tiloissaan. Liikkumisrajoituksia sekä kohtaamisien vähentämistä on otettu käyttöön. Vastaavasti STUKissa selvityspyynnöillä varmistuttiin, että voimayhtiöt ovat varautuneet tilanteeseen. Samaan aikaan STUKissa varmistuttiin, että heillä säilyy kyky hoitaa viranomaistehtäviä ja ylläpitää valmiutta myös epidemian laajentuessa.


Routamo kertoo, että STUKissa on siirrytty etätöihin kaikkien niiden tehtävien kohdalla,

joissa se on mahdollista. Päätöksen taustalla on tietenkin huoli kaikkien työntekijöiden, sekä omien että valvottavien, terveydestä. Päätöksen vaikutuksena paikan päällä tehtäviin tarkastuksiin on tullut muutoksia. Osa tarkastuksista tehdään etäyhteyksien avulla ja kiireettömät on siirretty tulevaisuuteen. Jossain tapauksissa STUK on antanut enemmän vastuuta toimijoille itselleen valvonnan suorittamisessa yhdessä sovitulla tavalla.

Välttämättömät tarkastukset tehdään paikallistarkastajien voimin välttämällä kontakteja sekä tartuntariskejä yhteistyössä valvottavien kanssa ja noudattamalla voimayhtiöiden ohjeita. Muutaman viikon kokemuksella Routamo vakuuttaa, että STUK pystyy toimimaan lähes normaalisti etäyhteyksien kautta. Priorisointia tehtävien välillä tehdään noudattamalla turvallisuusmerkitystä, jolloin joidenkin tehtävien käsittelyaikoihin voi tulla viivästyksiä. Apulaisjohtaja haluaa erityisesti korostaa, että vaikka kaikessa STUKin toiminnassa käytännössä joustetaan, niin turvallisuus säilyy puolin ja toisin.

Routamo haluaa vielä lopuksi muistuttaa, että turvallisuuskriittisillä aloilla tulisi varmistua siitä, ettei tulevaisuudessa samankaltainen kriisi enää yllätä nopeudellaan ja laajuudellaan. Kaikki tämän kriisin opit ja kokemukset tulisi kerätä yhteen omaa toimintaa kriittisesti arvioiden. Koronakriisi luo mahdollisuuden oppia ja kehittää varautumista laaja-alaisesti.

Poikkeustilanteen opit vastaavat seuraavan poikkeustilanteen kysymyksiin

Vuoden 2020 kevään ja kesän suunnitelmat ovat menneet todennäköisesti jokaiselta meiltä uusiksi ja seuraavat kuukaudet ja vuodet näyttävät meille, kuinka kauaksi kriisin vaikutukset ulottuvat sekä ajallisesti että yhteiskunnallisesti. Poikkeustilanteet tuovat aina mukanaan epävarmuutta ja tähän epävarmuuteen valmistaudutaan parhaiten oppimalla edellisistä poikkeustilanteista. STUKin apulaisjohtajan sanoja mukailen: vaikka jokainen kriisi on erilainen, jokaiseen kriisiin vastaaminen vaatii laajaa osaamista sekä johtamisessa, viestinnässä että tilannekuvan ylläpidossa. 

Lisätietoja:

- 1 Valtioneuvoston tiedote 145/2020: Yhteiskunnan toiminnan kannalta kriittisten alojen henkilöstö 17.3.2020 https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/10616/ yhteiskunnan-toiminnan-kannalta-kriittisten-alojen-henkilosto
- 2 Energiategollisuus ry:n tiedote: Energiategollisuuden Leskelä: Sähkön saatavuudesta ei tarvitse kantaa huolta 22.4.2020 https://energia.fi/julkaisut/materiaalipankki/energiategollisuuden_leskela_sahkon_saatavuudesta_ei_tarvitse_kantaa_huolta.html#material-view
- 3 Teollisuuden Voima Oy:n tiedote: Olkiluoto 1:n vuosihuolto 2020 lyhenee 26.3.2020 <https://www.tvo.fi/ajankohtaista/tiedotteetporssitiedotteet/2020/olkiluoto1nvuosihuolto2020lyhenee.html>
- 4 Teollisuuden Voima Oy:n tiedote: Olkiluodon vuosihuolloissa paljon erityisjärjestelyjä koronatartuntojen ehkäisemiseksi 30.4.2020 <https://www.tvo.fi/ajankohtaista/tiedotteetporssitiedotteet/2020/olkiluodonvuosihuolloissapaljonerityisjarjestelyjakoronatartuntojenehkaisemiseksi.html>

VTT:n Otakaari 3:n laboratorio-osan käytöstäpoisto etenee rinnakkain FiR 1:n käytöstäpoiston kanssa

Otaniemen FiR 1 -tutkimusreaktorin kupeessa sijaitsee VTT:n 1970- ja 1980-lukujen taitteessa käyttöön otettu laboratorio-osa. Reaktorin tavoin se odottaa käytöstäpoistoa uusien laboratoriotilojen valmistuttua vuosina 2017 ja 2018 VTT:n uuteen Ydinturvallisuustaloon.

Teksti: Jarmo Siivinen **Kuvat:** VTT

VANHASSA LABORATORIOSSA on käyttöhistoriansa aikana eri vuosikymmeninä tehty muun muassa radiokemian ja ydinjätepuolen tutkimusta sekä rikkovia aineenkuetuskokeita ydinvoimalaitosten radioaktiivisille rakennemateriaaleille niin kutsutussa kuumakammilaboratoriossa (hot cell). Lisäksi hot cell -tiloissa on tehty vauriotutkimusta ydinvoimalaitoskomponenteille ja muita tutkimuksia radioaktiivisilla aineilla. Käyttöhistoriaa ei ole dokumentoitu ainakaan käytöstäpoistoa ajatellen, mikä antaa projektille oman lisämausteensa. Alkuvaiheessa tarvitaan monipuolisia mittauksia tiloissa esiintyvien radionuklidien määrittämiseksi ja samalla varautumista mahdollisiin yllättäviin löydöksiin.

VTT haki vuoden 2019 alussa uuden säteilylain 48 ja 83 §:ien mukaista käytöstäpoiston turvallisuuslupaa, jonka STUK myönsi VTT:lle joulukuussa 2019. Käytöstäpoisto kattaa säteilylähteiden hävittämisen tai siirtämisen jatkokäyttöön, radioaktiivisten materiaalien, kontaminoituneiden laitteiden ja rakenteiden poistamisen sekä pintojen puhdistamisen ja jätehuollon. Tavoitteena on myös radioaktiivisen jätteenä varastoitavan ja loppukäsiteltävän jätteen määrän vähentäminen.

Käytöstäpoistoprojektin pääpiirteet

Laboratorio-, työpaja- ja varastotiloista muodostuva OK3-lyhenteellä kutsuttu tilakokonaisuus sijaitsee Otakaari 3 -kiinteistön laboratoriorakennuksessa Espoossa,

sen ensimmäisessä ja pohjakerroksessa. Ensimmäisessä kerroksessa on 14 ja pohjakerroksessa 11 huonetilaa, joita on käytetty laboratorion varsinaisiin toimintoihin, ja niiden lisäksi on erilaisia aputiloja. Samassa kiinteistössä on Aalto-yliopiston tiloja ja VTT:n hallinnassa oleva käytöstäpoiston kohteena oleva tutkimusreaktori FiR 1. Kiinteistön välittömässä läheisyydessä on muita Aalto-yliopiston rakennuksia.

Käytöstäpoistoprojektin tarkoituksena on poistaa OK3:n tiloista säteilylähteet sekä radioaktiiviset esineet ja materiaalit ja puhdistaa tilat niin, että ne voidaan luovuttaa Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:lle (ACRE) ilman säteilynsuojeluun liittyviä rajoituksia. Tavoitteena on tehdä luovutus vuonna 2022.

VTT on teettänyt Studsvik Consulting Ab:lla OK3:n käytöstäpoiston alustavan tarkastelun, jossa pohjana olivat Ruotsin vertailukohteet ja työkokemukset. Suunnittelu ja valmistelu ovat jatkuneet käytännön tasolla VTT:n omana työnä ennen uuden turvallisuusluvan saamista. Käytöstäpoisto jakautuu seuraaviin päävaiheisiin:

1. Valmistelut toimenpiteet, joihin kuuluvat säteilykartoitus, säteilyvalvontajärjestelyt, kulku- ja siirtoreittien muutokset, tilojen järjestäminen säteilymittauksille ja tilapäisvarastoille, sekä tarvittavien laitteiden hankinta. Tämä on jo toteutettu tarvittavassa laajuudessa. Kellarin osalta joitain rakennemuutoksia tarvitaan vielä myöhemmin.



Jarmo Siivinen

Tutkija, projektipäällikkö
Teknologian tutkimuskeskus
VTT Oy / Ydinenergia
jarmo.siivinen@vtt.fi

2. Puhtaiden tai lievästi kontaminoituneiden esineiden ja materiaalien poistaminen, lajittelu ja vapauttaminen valvonnasta tai pakkaaminen radioaktiiviseksi jätteeksi. Valtaosa huonetiloiista kuuluu tähän ryhmään eikä puhdistustoimissa tarvita säteilysuojellisia erityisjärjestelyjä. Putkistojen tai rakenteiden rajoitettu irrottaminen ja puhdistaminen tai pintojen kuoriminen eri menetelmillä voi olla tarpeen.
3. Säteilylähteiden poistaminen OK3:n tiloista. Tutkimusnäytevarastossa on lähes 10 000 näytettä. Tarpeettomat näytteet joko palautetaan jätteenä asiakkaille tai siirretään Suomessa välivarastoon pois Otaniemestä. Hyötymateriaali siirretään Ydinturvallisuustaloon.
4. Huomattavasti kontaminoituneiden kohteiden purkamisen, poistamisen ja dekontaminointi tai pakkaaminen radioaktiiviseksi jätteeksi. Kohteiden purkamisen edellyttää säteilysuojellisia erityisjärjestelyjä, jotka suunnitellaan ennen työn toteutusta.
5. Huonetilojen loppupuhdistus ja säteilykartoitus valvonnasta vapauttamiseksi. Purkamisen päätyttyä tehdään kartoitus ja huonetilojen valvonnasta vapautusta koskeva raportti STUKille, jolla valvonnasta vapauttamisen aktiivisuuskaterajojen ja vastaavien määräysten täytyminen osoitetaan. Säteilyturvallisuudesta huolehtimiseksi on laadittu yksityiskohtainen toimintaohjeisto vastaten Ydinturvallisuustalon ja soveltuvin osin FIR 1 -tutkimusreaktorin menettelyohjeita.

Työntekijöiden vuosiansioksen lisäksi määritellään päivä- ja viikkokohtaiset annosrajat. Niitä seuraamalla voidaan ennustaa säteilyannoksen kertymistä ja tarvittaessa rajoittaa sitä lisäsäteilysuojelutoimenpitein. Vaativissa purkukohteissa (esimerkiksi tutkimuskapselien avaamiseen käytetyn kuumakammion purku) työvaiheille laaditaan erityinen säteilytöölupa ja -ohjeet. Työntekijöiden säteilyannoksia rajoitetaan työlupaan perustuvien säteilysuojelutoimin. Ennen laitteiden paloitteleva dekontaminoidaan tai pinnoille suihkutaan pölyä sitovaa ainetta. Tarvittaessa käytetään kauko-ohjattavia käsittelylaitteita.

OK3:n purkamisen aikainen ympäristön säteilyvalvonta perustuu FIR 1 -reaktorin ympäristövalvontaohjelmaan. Päästöt estetään säilyttämällä nykyinen ilmastointijärjestelmä ja viemärintiijärjestelmä käyttökuntoisena mahdollisimman pitkään ennen järjestelmien mahdollisesti kontaminoituneiden osien purkua käytöstäpoiston viimeisenä toimenpiteenä. Aktiivisen viemärintiijärjestelmän vedet menevät lietekaivon kautta keräyssäiliöihin. Säiliöistä otetaan ajoittain näytteet ja niiden ollessa alle vapaarajojen säiliöistä lasketaan nestettä kaivon viemäriin. Kaivon pohjalla oleva liete analysoidaan lopuksi ja käsitellään tarvittaessa radioaktiivisena jätteenä.

Työntekijöille ja väestölle aiheutuva säteilyaltistus pidetään pienenä

Tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa työt noin 50–70 mmanSv kokonaisaltistuksella, noin 15 henkilölle. Suurimman yksilöannok-

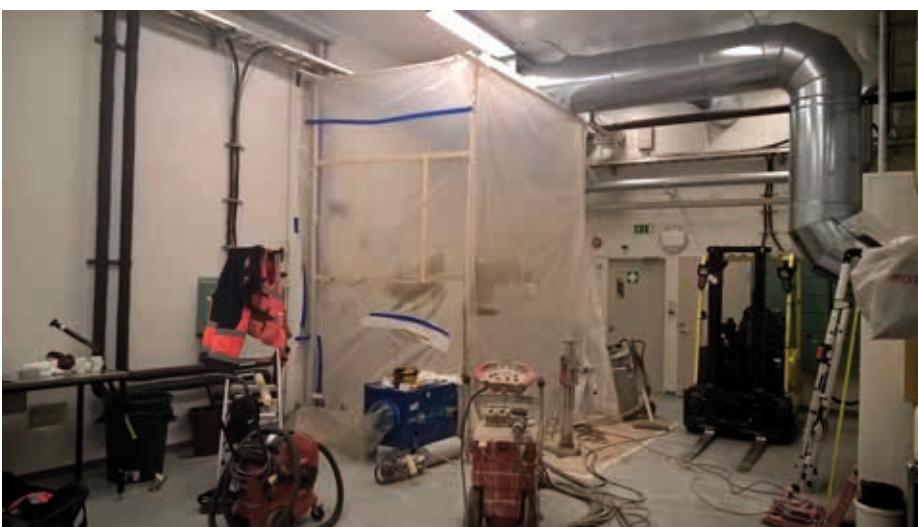
sen tulisi olla alle 5 mSv vuodessa. Tähän mennessä tehtyjen töiden ja annosvalvonnan perusteella tavoitteisiin pääsy onnistuu hyvin. Purkutöissä ei ole merkittävää riskiä tilanteille, joissa työntekijät voisivat altistua lyhyessä ajassa korkeille säteilyannoksille, kun käytetään asianmukaisia työmenetelmiä ja suojavarustusta sekä valvotaan annosten kertymistä työn kuluessa.

Vaikeimmin purettaviin kohteisiin kuuluu tutkimusnäytekapselien avauskammio, jossa paikallisesti mitattu annosnopeus on vieläkin yli 100 mSv/h. Tämän ja muiden aktiivisimpien kohteiden siivoamiseen ja purkamiseen tehdään erilliset säteilysuojelusuunnitelmat.

OK3-laboratorion käytöstäpoistosta ei odoteta aiheutuvan mittauksin havaittavia päästöjä ympäristöön. Edustavina turvallisuusanalyysinä on tarkasteltu kahdesta mahdollisista pidettävästä epätodennäköisestä tilanteesta aiheutuvia päästöjä ja säteilyannoksia. Niistä aiheutuvat suurimmat väestön yksilöannokset jäävät selvästi alle 0,1 mSv, joka on STUKin asettama väestön altistuksen annosrajoitus.

Säteilylähteitä on tutkimusnäytevarastossa lähes 10 000

Tutkimusnäytevarasto on 240 laatikon lokerikko, jonka jokaisessa lokerossa on tyypillisesti 6 rasiaa, joista kuhunkin mahtuu lukuisia näytteitä. Näytteiden kokonaisgamma-aktiivisuus on noin 300 GBq (vuoden 2015 taso). Suurimpia asiakkaita ovat olleet ydinvoimalaitokset, kuten Loviisa, Olkiluoto ja Ringhals, ja eräät ulkomaiset ydintutkimuslaitokset.



Timanttisauhun valmistelua uuden tavaransiirtoyhteyden avaamiseksi kantavaan väliseinään (vasemmalla) ja näköä työn valmistuttua (oikealla).





Mitattavia (vasemmalla) ja jo valvonnasta vapautettuja jätetynnyreitä ja -purkkeja (oikealla).

Näytteiden kirjanpito oli alun perin manuaalinen ja vasta vuosina 1990–2000 luotiin sähköisiä järjestelmiä. Vuonna 2015 kirjanpito käytiin läpi ja jokaisen rasian sisältö kuvattiin ja sen annosnopeus mitattiin. Sen jälkeen kirjanpitoa ja näytteiden tunnistamista on jatkettu hyödyntäen sähköistä raporttiarkistoa ja muita aineistoja. Näytevaraston aktiivisuus muodostaa merkittävimmän osan OK3:n radioaktiivisuudesta.

Tutkimusnäytteet joko palautetaan asiakkaille, siirretään Ydinturvallisuustaloon (jos näytteitä vielä tarvitaan tutkimuksissa) tai siirretään radioaktiivisiin jätteisiin. Jälkimmäiseen kategoriaan kuuluvat näytteet, joita ei tunnisteta tai joiden palauttaminen olisi vaikeaa joko vastaanottajan puuttuessa tai suurten kustannusten vuoksi.

Puhdistustoimien tekninen toteutus

Puhdistettavista huonetiloista poistetaan ensin irtaimisto (tutkimuslaitteita, työkaluja, huonekaluja, mappeja, putkia, kaapeleita, päällystemateriaaleja ym. laboratoriotiloissa olevia tavaroita). Suurimmassa osassa poistettavista tavaroista voi olla pintakontaminaatiota, joka on syntynyt tutkittavia näytekappaleita käsiteltäessä. Pintakontaminaatiota on voinut syntyä myös radioaktiivisen pölyn levitessä laboratoriotiloihin. Joissakin tutkimuslaitteissa on myös sisäpuolista kontaminaatiota.

Poistettavat laitteet, esineet ja materiaalit lajitellaan ja käsitellään seuraavasti:

- Siirto uudelleen käytettäväksi säteilyvalvotussa toiminnassa (esim. lyijytiliet, avaamattomat reagenssipullot ja jotkut laitteet ja työkalut).
- Valvonnasta vapautus uudelleenkäyttöön, kierrätykseen tai kaatopaikalle.
- Radioaktiivisena jätteenä pakkaus. Pakkaamisessa on huomioitava loppusijoitettavien pakkausten hyväksymiskriteerit: aktiiviset nesteet on kiinteytettävä tai puhdistettava ja esimerkiksi lyijy suurina määrinä on loppusijoitustilassa ei-toivottu materiaali.

Puhdistettavista huonetiloista poistettavien tavaroitten mittausta ja lajittelua tehdään kolmessa vaiheessa:

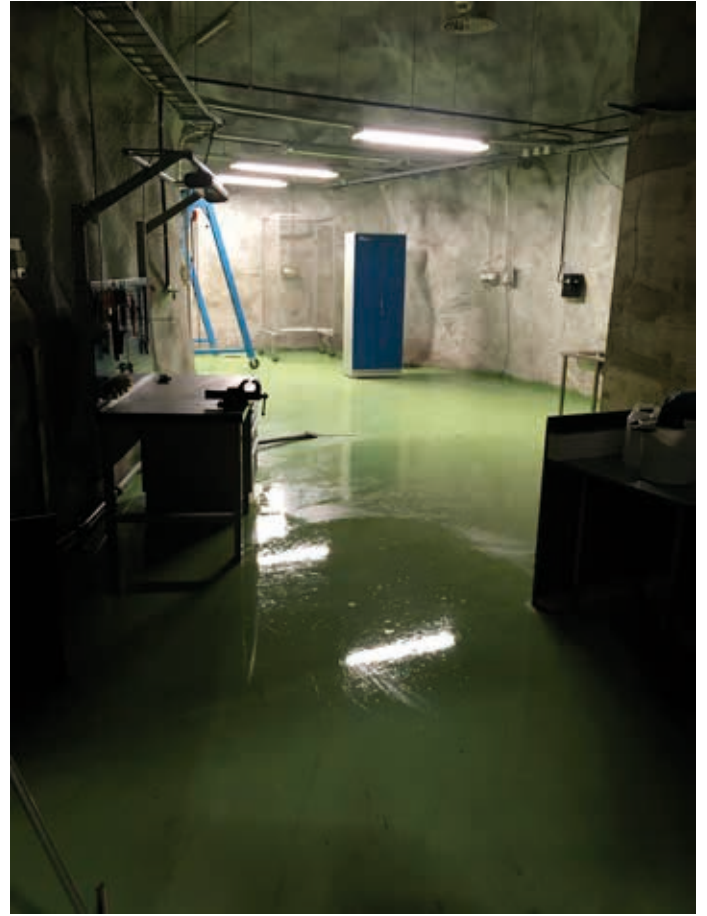
- Karkea lajittelumittaus tehdään puhdistettavassa huonetilassa tai käytävän mittauspisteessä kannettavilla laitteistoilla ja tarvittaessa pyyhintänäyteenotolla ja näytteen pika-analysoinnilla.
- Tarkemmat mittaukset voidaan tehdä joko matalataustaisessa huonetilassa, jossa on käytössä teollisuuspesukone ja muita kevyen dekontaminointiin tarvittavia välineitä. Lajittelumittauksiin käytetään työkalumonitoria ja näytteiden pika-analysointia.
- Valvonnasta vapautusmittaukset tehdään miiluhallin matalataustaisessa huone-

tilassa gammaspektrometrilla. Suurten kappaleiden, kuten huonekalujen, valvonnasta vapautus tehdään kannettavalla pintakontaminaatiomittarilla ja pyyhintänäytteen mittauksella.

- Jätepakkausten mittaukset tehdään pilot-hallissa gammaspektrometrilla.

Merkittävästi kontaminoituneet kohteet, kuten tutkimusnäytteiden avaamiseen käytetty kammiot, tasohiomakone ja vannesaha, puretaan seuraavasti:

- Kohteen säteilytasot mitataan ja radioaktiivisuusinventari arvioidaan.
- Irtaimet ja helposti irtoavat esineet ja materiaalit poistetaan joko olemassa olevilla varta vasten asennetuilla tai erikseen hankittavilla laitteilla.
- Kohteen pintoja dekontaminoidaan kemiallisesti tai mekaanisesti silloin kun se on järkevää säteilysuojellullisesti ja kohteen päätepiste (radioaktiivinen jäte, kierrätys, hävitys) huomioon ottaen.
- Suuri kohde, jota ei kierrätetä, paloitellaan tarkoitukseen sopivalla menetelmällä. Säteilytasojen salliessa paloitte- lu voidaan tehdä manuaalisesti, mutta myös paloitte- luun etäohjatulla laitteella varaudutaan. Säteilysuojia käytetään tarvittaessa.



Vanha aktiivisen materiaalin autoklaavitala ennen (vasemmalla) ja jälkeen (oikealla) puhdistuksen. Tilasta poistettiin irtaimisto, minkä jälkeen lattiat märkäpestiin, pesuvesi imuroitiin säiliöön ja mitattiin puhtaaksi. Seinäpinnat mitattiin ja todettiin vapaiksi kontaminaatiosta.

Esineiden, materiaalien ja tilojen vapauttaminen valvonnasta

Purkamisen päätyttyä tehdään radiologinen kartoitus, jolla valvonnasta vapauttamisen kriteerien täytyminen osoitetaan. Jos kriteerit eivät täyty, puhdistusta jatketaan puhdistuskemikaaleilla, korkeapaineisella vesisuihkulla tai mekaanisella kaavinnalla/kuorinnalla kontaminaation ja pintamateriaalin tyypistä riippuen. Dekontaminoinnissa syntyy nestemäisiä radioaktiivisia jätteitä, jotka kerätään säiliöihin ja voidaan tarpeen mukaan käsitellä kuten muukin käytöstäpoistojaite. Putkistoja ja muita rakenteita varaudutaan myös poistamaan.

Kun tiloista on poistettu irtaimisto, rakenteille (erityisesti lattialle) tehdään kontaminaatiokartoitus. Kontaminaatiokartoitusta voidaan täydentää tilastollisesti Kartotrak-ohjelman avulla, joka esittää mittaustulokset 2D-kuvina epävarmuuksineen. Tarvittaessa voidaan tehdä täydentäviä mittauksia esimerkiksi pyyhkäisy- ja raaputusnäytteiden avulla. Näin kontaminoituneet alueet voidaan määrittää

tarkasti ja dekontaminointi voidaan suorittaa kohdennetusti.

Rajat kiinteiden materiaalien vapauttamiseen valvonnasta sekä jätteen loppukäsittelylle annetaan STUKin määräyksissä. Jäte-erän saa luovuttaa jätelaisissa tarkoitettuun jätteen loppukäsittelyyn (käytännössä sijoittaminen kaatopaikalle tai poltto ilman energian talteenottoa), jos:

1. Yhdessä jätepakauksessa oleva aktiivisuus on enintään vapaarajan suuruinen (esim. Co-60:lle 100 kBq), tai usean nuklidin tapauksessa nuklidikohtaiseen vapaarajaan suhteutettujen osuuksien summa on korkeintaan yksi.
2. Yhdestä säteilyn käyttöpaikasta kuukauden aikana toimitettavan jätteen aktiivisuus on enintään 10 kertaa vapaarajan suuruinen, tai usean nuklidin tapauksessa nuklidikohtaiseen vapaarajaan suhteutettujen osuuksien summa on korkeintaan kymmenen.

Mittauksissa valvonnasta vapautuksen kriteerit täyttävät jätteet pakataan tynnyreihin ja toimitetaan loppukäsittelypaikalle. Suurehkoja

metalliesineitä, joiden aktiivisuuskaterajat alittavat vapauttamisrajat, toimitetaan metallikierätykseen.

Purkamatta jätettävät rakennukset voidaan vapauttaa valvonnasta ilman käyttörajoituksia, jos tilojen seinien, lattioiden ja kattojen keskimääräinen aktiivisuuskate ei ylitä arvoa 4 000 Bq/m² eikä aktiivisuuskate arvoa 10 000 Bq/m² millään yhden neliömetrin alueella. Lisäksi säteilylain 83 § antaa mahdollisuuden tilan vapauttamiselle tapauskohtaisen selvityksen perusteella, mikäli valvonnasta vapauttamisen yleiset edellytykset täyttyvät.

Aktiivisuusmittaukset tehdään kaikille pinnoille ja kaikille esineille

Koska vain verraten voimakkaat gammasäteilijät ovat nopeasti ja kattavasti määritettävissä, käytetään muiden beeta-aktiivisten nuklidien määrittämiseen skaalausmenetelmää, jossa vaikeasti mitattaville nuklideille määritetään nuklidivektori helposti mitattavan gammasäteilijän, verrokinuklidin, suhteen.



Tutkimusnäytevarasto ja aktivoituneita Charpy V-iskukoesauvoja.

Tarkasteltavassa tapauksessa Co-60 soveltuu parhaiten verrokkinuklidiksi, sillä se on riittävän pitkäikäinen ja sen emänuklideja (Co-59 ja Ni-59) on rautapohjaisissa materiaaleissa.

Puhdistettavissa huonetiloissa karkeamittauksiin käytetään pintakontaminaatiomittaria, jossa on tuikeilmaisin- tai Geiger-Müller-tyyppinen mittausturini. Ne soveltuvat alfa-, beeta- ja gammakontaminaation määrittämiseen luokse päästävillä pinnoilla. Kun suora käsimonitorimittaus ei ole mahdollinen vaikkapa sisäpuolisen kontaminaation takia, otetaan pyyhintänäyte, joka mitataan joko käsimonitorilla tai erityisellä analyyttimellä. Matalataustaisessa tilassa on kaappimonitori, joka soveltuu puhdistettujen työkalujen ja muovipusseihin kerättyjen valvonnasta vapautettavien tavaroiden suunta-antavaan mittaukseen.

Pienten ja pienehköjen esineiden siirto uudelleen käytettäväksi perustuu puhdistukseen pesukoneessa tai muunlaiseen dekontaminointiin ja sen jälkeen mittaukseen työkalumonitorilla. Pieniä valvonnasta vapautettavaksi tarkoitettuja esineitä kerätään muovipusseihin, joiden alhainen säteilytaso varmistetaan joko annosnopeusmittaria tai työkalumonitoria käyttäen.

Suurehkoista esineistä, jotka on tarkoitettu vapauttaa valvonnasta jätteenä hävitettäväksi, kierrätettäväksi tai uudelleen käytettäväksi, aktiivisuuskate määritetään pintakontaminaation mittauksilla ja varmistetaan pyyhintänäytteellä. Mittauksen perusteella päätetään mahdollisesta dekontaminoinnista.

Nuklidikohtaiset aktiivisuuspitoisuudet mitataan gammaspektrometrilaitteistolla. Aktiivisuusmäärittämisessä otetaan huomioon

itseabsorptio jätte-erän painon perusteella. Muiden kuin voimakkaiden gammasäteilijöiden aktiivisuudet lasketaan nuklidivektorien avulla.


Palvelusopimus Fortumin kanssa

VTT on solminut Fortumin kanssa käytöstäpoiston palvelusopimuksen, joka kattaa OK3:n radioaktiivisten jätteiden vastaanoton Loviisan voimalaitokselle. Radioaktiiviset jätteet tullaan pakkaamaan astioihin, jotka ovat yhteensopivia Loviisan voimalaitoksen jätehuollon kanssa. Matala-aktiivisille jätteille käytetään 200 litran sisäpuolelta pinnoitettuja terästynnyreitä. Keskiaktiiviset jätteet pakataan sylinterimäisiin betoniastioihin, minkä lisäksi on tarvittaessa käytössä teräsastioita.

Tätä juttua kirjoittaessa OK3:n radioaktiivisten materiaalien tutkimuslaboratorion käytöstäpoistoprojekti kaikkine esiselvityksineen ja -valmisteluineen on tähän mennessä vienyt aikaa jo viitisen vuotta. Haasteellista on ollut muun muassa yrittää muodostaa kattava kokonaiskuva hankkeesta käytössä olevien dokumenttien perusteella, selvittää tutkimusnäytteiden palautuksia vanhoille ulkomaisille asiakkaille sekä määrittää radioaktiivisen jätteen nuklidivektori etenkin vaikeasti mitattavien radionuklidien osalta, jota tietoa kuitenkin tarvitaan jätehuoltoon, välivarastointia ja loppusijoitusta varten.

Työn aikana on myös huomattu, että vaikkapa tiloissa oleva kokonaisaktiivisuus ei olekaan valtavan suuri ja siitäkin suurin osa siirtyy joko uusiin tiloihin Ydinturvallisuustaloon tai palautuu asiakkaille, on jäljelle jäävän aktiivisuuden

kanssa silti työtä riittämiin, sillä se on jakautuneena pienissä osissa moneen eri paikkaan. Tärkeä oppi Ydinturvallisuustalon uudessa materiaalilaboratoriossa tehtävää työtä ajatellen on myös se, ettei jätteisiin liittyvien asioiden hoitoa lykätä johonkin tuonemmas, kun on ”parempi hetki”, vaan hoidetaan homma kuntoon silloin kun asia on vielä kaikkien osapuolten tuoreessa muistissa.

Joka tapauksessa hankkeessa on opittu paljon kaikenlaista uutta niin jätteiden ja jättevirtojen käsittelyn ja muun hands-on-tyyppisen työn sekä mittaamisen kuin myös uudentyyppisten työvälineiden ja menetelmien, kuten lisätyn todellisuuden tai virtuaalitodellisuuden, hyödyntämisen osalta. 



Loviisan voimalaitoksen 1-yksikkö (oikealla) liitettiin valtakunnan verkkoon vuonna 1977 ja 2-yksikkö vuonna 1980. Käytössäoloaikanaan voimalaitos on tuottanut sähköä luotettavasti ja turvallisesti.

Katsaus valmiustoimintaan Loviisan voimalaitoksella

Koko maailman kamppaillessa koronaviruspandemiaa vastaan ihmisten arki kuitenkin tavalla tai toisella jatkuu. Globaali kriisi on alleviivannut niiden toimintojen merkitystä, jotka pitävät yhteiskunnan toimintakykyisenä myös poikkeuksellisina aikoina. Yksi tärkeimpiä yhteiskunnan tukipilareita on luotettava ja turvallinen energian tuotanto. Ydinvoimalaitoksista puhuttaessa toiminnan turvallisuuden merkitys korostuu erityisesti. Eräs turvallisuuden osa-alue on varautuminen ennakkoon erilaisiin onnettomuuksiin tai turvallisuutta heikentäviin tapahtumiin, eli valmiustoiminta.



FM Juha-Pekka Jurvanen
Environmental Engineer
Fortum Power and Heat Oy
juha-pekka.jurvanen@fortum.com

Teksti: Juha-Pekka Jurvanen **Kuvat:** Fortum Oyj

YDINVOIMALAITOKSEN valmiusorganisaation päätehtävä on estää onnettomuuden eteneminen tai rajoittaa sitä, ja saattaa voimalaitos turvalliseen tilaan. Mahdollisuuksien mukaan on myös estettävä tai rajoitettava radioaktiivisten aineiden hallitsematonta vapautumista ja siitä aiheutuvia säteilyvaikutuksia laitoksella, laitosalueella ja ympäristössä.

Voimalaitoksen valmiusorganisaation päätehtävän toteuttaminen liittyy siten ensisijaisesti voimalaitoksella tai voimalaitosalueella suorit-

taviin toimiin. Toiminnasta laitosalueen ulkopuolella vastaavat eri viranomaisorganisaatiot. Loviisan voimalaitoksella pienen poikkeuksen tähän työnjakoon muodostavat voimalaitoksen säteilymittauspartiot, jotka suorittavat mittauksia tarvittaessa myös laitosalueen ulkopuolella. Lisäksi voimalaitoksen jatkuvatoimisia ympäristön säteilyvalvontamittalaitteita on sijoitettu laitosalueen ulkopuolelle.

Valmiusorganisaation päätehtävän toteuttamiseksi valmiusorganisaatiolta vaaditut toimet on jaettu pienemmille toimintayksiköille, joihin

on nimetty kyseisten tehtävien suorittamiseen koulutuksen saaneita asiantuntijoita. Loviisan voimalaitoksella näitä valmiusorganisaation ryhmiä kutsutaan vakansseiksi. Suomalaisilla ydinvoimalaitoksilla valmiusorganisaation toimintaa johtaa valmiuspäällikkö, joka tekee päätöksiä valmiusorganisaation tuella.

Päätehtävänsä lisäksi voimalaitoksen valmiusorganisaatio muun muassa jakaa viranomaisille tietoa vallitsevasta tilanteesta ja tilanteen ennustetusta kehittämisestä voimalaitoksella sekä huolehtii säteilymittaustoiminnasta. Suoraan voimalaitokselta saatavan tilannetiedon perusteella viranomaiset pystyvät ohjaamaan omaa toimintaansa ja esimerkiksi antamaan toimenpidesuosituksia ympäristön asukkaille. Viestintä on siis avainasemassa valmiusorganisaation toiminnassa.

Valmiustilanteita on eri asteisia

Ydinvoimalaitoksista puhuttaessa termi valmiustilanne herättäne monissa mielikuvan Tšernobyl- tai Fukushima-tyyppisestä ydinonnettomuudesta. Mahdollisten valmiustilanteiden skaala on kuitenkin laaja. Suomessa valmiustilanteet luokitellaan niiden vakavuuden ja hallittavuuden perusteella kolmeen luokkaan:

- Varautumistilanne, jossa ydinvoimalaitoksen turvallisuustaso halutaan varmistaa poikkeuksellisessa tilanteessa.
- Laitoshätätilanne, jossa ydinvoimalaitoksen turvallisuus heikkenee tai uhkaa heiketä merkittävästi.
- Yleishätätilanne, jossa on olemassa vaara sellaisista radioaktiivisten aineiden päästöistä, jotka saattavat edellyttää suojelutoimenpiteitä ydinvoimalaitoksen ympäristössä.

Valmiustilanteen luonne voi myös muuttua ajan kuluessa ja varautumistilanteena alkanut tilanne voi kehittyä laitos- tai yleishätätilanteeksi.

Valmiustilanne Loviisan voimalaitoksella

Loviisan voimalaitoksen yli 40-vuotisen toimintahistorian aikana valmiustilanne on määrätty voimalaitoksella kerran. Vuoden 2005 tammiukuussa Gudrun-myrskyn seurauksena meriveden pinnankorkeus nousi Loviisan voimalaitoksella hieman yli 1,7 m korkeudelle (N60-korkeusjärjestelmän mukaan), minkä vuoksi voimalaitoksella julistettiin varautumistilanne.

Korkean meriveden voimalaitokselle aiheuttama uhka riippuu sekä meriveden pinnan korkeudesta että tuulen nopeudesta.

Gudrun-myrskyn aikana varautumistilan julistamisen raja-arvo ylittyi pinnankorkeuden osalta, mutta ei tuulen nopeuden osalta. Tilanteen poikkeuksellisuuden vuoksi päätettiin kuitenkin julistaa varautumistilanne, ja valmiusorganisaatio kutsuttiin koolle tarpeelliseksi katsotussa laajuudessa.

Loviisan voimalaitoksella tilanteen kehitymistä oli seurattu tarkasti jo useita päiviä ennen varautumistilanteen julistamista. Varautumistilanteen julistamisen aikaan jo tiedettiin, että Ruotsissa Barsebäck 2 sekä Ringhals 1, 2 ja 3 oli ajettu edellisenä päivänä saman myrskyn vuoksi alas. Loviisassa sääolosuhteet eivät kuitenkaan saavuttaneet tasoa, joka olisi edellyttänyt laitoksen alas ajamista.

Varautumistilanteen aikana koolle kutsuttu voimalaitoksen valmiusorganisaatio oli yhteydessä STUKiin, Ilmatieteen laitokseen ja silloiseen Merentutkimuslaitokseen. Toisaalta yhteydenpidolla pidettiin STUK ajan tasalla tilanteesta voimalaitoksella, toisaalta Ilmatieteen laitos ja Merentutkimuslaitos tarjosivat ennustetietoa sääolosuhteiden ja merenpinnankorkeuden kehittämisestä.

Tässä yhteydessä on syytä tarkentaa, että hieman yli 1,7 m meriveden pinnankorkeus ei poikkeuksellisuudestaan huolimatta vaarantanut voimalaitoksen turvallisuutta. Loviisan voimalaitoksella korkeaan meriveteen liittyvä varsinainen riskiraja oli tuolloin 3 m. Fukushima onnettomuuden jälkeen Loviisan voimalaitoksen tulvasuojauksia on parannettu ja korkean meriveden pinnan riskiraja on nykyään yli kolme metriä. Varautumistilanteen julistamisen ja laitoksen alasajon raja-arvot on kuitenkin asetettu riittävän matalalle, jotta laitos ehditään ajamaan hallitusti ja rauhallisesti alas.

Toimintaa harjoitellaan valmiusharjoituksissa

Voimalaitoksen valmiusorganisaation toimintakykyä ylläpidetään vuosittaisten valmiusharjoitusten avulla. Valmiusharjoitusta varten luodaan erillinen harjoituskkenaario, jonka mukaisesti tilanteen esitetään voimalaitoksella etenevän. Peruslähdekohtana on, että valmiusharjoitus ei saa aiheuttaa todellisia vaaratilanteita, ja tilanne katkaisee harjoituksen. Harjoitukseen osallistuvat organisaatiot toimivat harjoituksessa omien valmiustoimintasuunnitelmien ja saamansa koulutuksen mukaisesti.


Harjoituksen aikana voimalaitoksen käytäytymistä simuloidaan harjoittelevalla valmiusorganisaatiolle koulutussimulaattorin avulla. Laitostilannetta simuloitaessa huomioidaan myös valmiusorganisaation suorittamat toimet, jotta harjoitteleva organisaatio näkee tekemiensä toimenpiteiden vaikutuksen laitos tilanteeseen.

Valmiusharjoituskkenaariot päätyvät tyypillisesti säteilyvaaratilanteiksi, jotta koko voimalaitoksen organisaatio pääsee harjoittelemaan omien toimien suorittamista. Tilanteen esikaloituminen säteilyvaaratilanteeksi edellyttää laitoksen moninkertaisten turvallisuusjärjestelmien laajaa vikaantumista. Tällaisessa tilanteessa valmiusorganisaation tavoitteena on palauttaa tarvittavat turvallisuusjärjestelmät käyttökuntoon ja löytää korvaavat järjestelyt laitoksen tuomiseksi turvalliseen tilaan.

Valmiustilanteen vakavuudesta ja hallittavuudesta riippumatta todellisen valmiustilanteen selvittämiseen osallistuu aina myös lukuisia viranomaisorganisaatioita. Keskeisimmät yhteistyöviranomaiset ovat STUK, sisäministeriö, pelastuslaitos, poliisilaitos, hätäkeskus sekä Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri. Eräs valmiusharjoitusten keskeisistä tavoitteista onkin eri organisaatioiden välisen yhteistyön ja työnjaon harjoittelu. Yhteistoiminnan harjoittelulle annetaan erityisen suuri painoarvo kolmen vuoden välein järjestettävissä yhteistoimintaharjoituksissa.

Valmiusharjoitukset suunnitellaan aina harjoittelevien organisaatioiden kesken. Jokainen organisaatio määrittelee omat harjoittelutavoitteensa, joiden toteutumista arvioidaan organisaatioiden harjoitukseen nimeämien tarkkailijoiden toimesta. Lisäksi harjoitukseen osallistuneilta kerätään palaute. Toimintaa kehitetään tarkkailijoiden havaintojen sekä saadun palautteen perusteella. Vakioharjoittelukohteita, melkeinpa organisaatiosta riippumatta, ovat valmiustilanteen käynnistäminen ja päättäminen.

Tärkein resurssi on ammattitaitoiset ihmiset

Ydinvoimalaitoksen turvallisen toiminnan kannalta valmiustilanteisiin, olivat ne kuinka epätodennäköisiä tahansa, pitää varautua. Valmiustoiminnan tavoitteiden kannalta on tärkeää, että toiminnalle on varattu asianmukaiset tilat ja varusteet, ja että toiminta on ennalta suunniteltua sekä ohjeistettua. Tavoitteiden kannalta tärkein resurssi ovat kuitenkin ammattitaitoiset ihmiset, jotka tuntevat oman laitoksensa läpikotaisin ja ovat oman alansa erityisosaajia. Ilman tätä osaamista tilat, varusteet, suunnitelmat ja ohjeet yksinään eivät auta tilanteesta selviämässä. Niin tavanomaisina kuin kansallisen kriisitilanteenkin aikoina tästä resurssista on syytä pitää huolta. 

Lisätietoa:

- ¹ YVL C.5
- ² STUKin määräys STUK Y/2/2018

Recent Finnish Research Activities in European Cooperation on Safe Radioactive Waste Management

Erika Holt¹, Markus Olin¹, Tiina Jalonen²
¹VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, ²Posiva Oy

The European research community is actively working toward the operation of the first permanent geologic disposal of spent nuclear fuel, as well as implementing better practices for pre-disposal waste treatment and low- and intermediate-level waste disposal. Many groups in Finland are participating in the projects to develop safe technologies and materials, addressing radwaste issues within the strategic research agendas of IGD-TP and SNETP. This article gives a synopsis of either on-going or recently completed European projects, building upon an earlier similar article published in this journal in 2016.

Euroopan tutkimusyhteisö pyrkii aktiivisesti tutkimuksellaan tukemaan maailman ensimmäisen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen käyttötoiminnan aloittamista sekä kehittämään matala- ja keskiaktiivisen jätteen esikäsittelymenetelmiä ja loppusijoitusta. Useita suomalaisia tutkimusryhmiä osallistuu hankkeisiin, joissa kehitetään turvallisia teknologioita ja materiaaleja sekä pyritään vastaamaan IGD-TP:n ja SNETP:n asettamiin ydinjätealan strategiisiin haasteisiin. Tässä artikkelissa kuvataan käynnissä olevia ja hiljattain päättyneitä eurooppalaisia projekteja – vastaava artikkeli on ilmestynyt tässä lehdessä vuonna 2016.

For almost 40 years in Finland, there have been continuous investments towards research and technology development necessary for the safe and optimal implementation of radioactive waste management. The Finnish and European governments, regulatory bodies, nuclear power plant owners and waste management organisations have supported research to reduce uncertainties about waste management, in fields such as site characterization, engineered barrier systems (EBS), materials, design, monitoring, construction, microbial activity and long-term safety. One of the primary platforms for international cooperative research are the Euratom projects, which have been administered by the European Commission within the Horizon2020 program [1] over the past few years.

This article gives a summary of some of the key projects that are underway or recently completed in Finland within the Euratom programme for waste management as well as a project covered by the European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR). Many of these projects are directly contributing to the spent fuel program of Posiva Oy and have been developed with their needs in mind. However, in the recent years more project activity has grown in the field of improved safety for Low- and Intermediate-Level Waste (LILW) where also the Finnish interests of Fortum Power and Heat Oy, Teollisuuden

Voima Oy and Fennovoima Oy are considered. Many of these Euratom projects have been formulated based on discussions within three networks: 1) Implementing Geological Disposal Technology Platform (IGD-TP) [2] representing the Waste Management Organisations (WMO), 2) Sustainable network for Independent Technical Expertise on radioactive waste management (SITEX) [3] representing the Technical Support Organisations (TSO) and 3) the newest one Network of Research Organisations for Radioactive Waste Management Science within Europe (EURADSCIENCE) [4] representing the research entities (RE). Issues of pre-disposal waste management and decommissioning are more within the focus of NUGENIA and Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP) networks [5].

BEACON – Bentonite Mechanical Evolution (HLW repository evolution, long-term safety)

The sealing ability is essential for the engineered clay (bentonite) barriers in all geological repository concepts. The overall objective of the BEACON project is to develop and test the tools necessary for the assessment of the mechanical evolution of an installed bentonite barrier and the resulting sealing ability of the barrier. The project aims

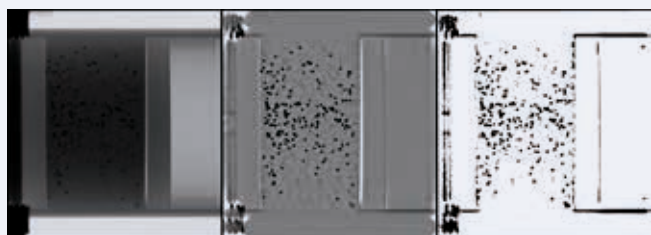


Figure 1. Example results from BEACON project, showing X-ray tomography image analysis of wetting and swelling bentonite (figure: Joni Tantt and Markku Kataja, University of Jyväskylä).

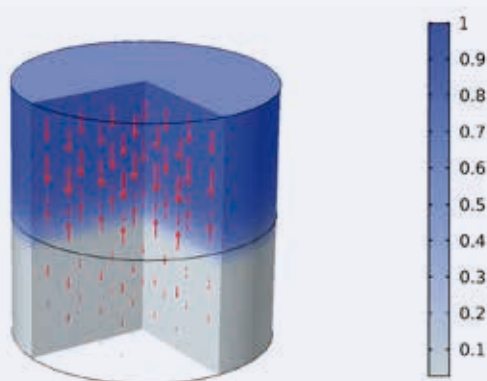


Figure 2. Example of simulations from BEACON project, showing wetting and displacement dynamics of a bentonite block – pellet experiment (top half is pellets and bottom half a block). Color shows the saturation and arrows the displacement field (figure: Heidar Gharbieh and Veli-Matti Pulkkänen, VTT).

at gaining more detailed understanding of material properties, of the fundamental processes that lead to homogenisation and of the role of scale effects, as well as improved capabilities for numerical modelling.

CHANCE – Characterization of Conditioned Nuclear Waste for its Safe Disposal

Safe interim storage and final disposal of radioactive waste requires effective characterization and quality control of the waste. The CHANCE project aims to address the specific and complex issue of the characterization of conditioned radioactive waste by means of non-destructive analytical techniques and methodologies. Characterization issues within CHANCE encompass both physico-chemical and radiological characterization.

The CHANCE project is evaluating characterization methods and quality control schemes for conditioned radioactive waste in Europe. Furthermore, CHANCE develops, tests and validates already-identified and novel techniques that will undoubtedly improve the characterization of conditioned radioactive waste. These techniques include:

- Calorimetry as an innovative non-destructive technique to reduce uncertainties on the inventory of radionuclides
- Muon Tomography to address the specific issue of non-destructive control of the content of large volume nuclear waste
- Cavity Ring-Down Spectroscopy as an innovative technique to characterize outgassing of radioactive waste.

DISCO – Modern Spent Fuel Dissolution and Chemistry in Failed Container Conditions

The DISCO project aims to fill the gap of knowledge on spent fuel dissolution arising from the development and use of novel types of fuel (Cr-doped and MOX). Specific objectives of DISCO are:

- To enhance our understanding of spent fuel matrix dissolution under conditions representative to failed containers in reducing repository environments
- To assess whether novel types of fuel (MOX, doped) behave like the conventional ones.

The project builds upon earlier Euratom projects (such as SFS, NF-PRO, MICADO, REDUPP and FIRST-Nuclides) which focused on dissolution and radionuclide release from conventional UO_2 spent fuels. The importance of this portfolio of projects is with respect to developing a robust safety case for geological disposal of spent nuclear fuel (SNF), which requires a solid understanding of its dissolution over very long timescales (up to a million years). The spent fuel dissolution is the main source for the release of radionuclides under repository conditions, and it will control the release of radioactivity in the environment surrounding the engineered barriers (the near field) of a disposal facility once EBS has degraded and groundwater comes into contact with the spent fuel.

METRODECOM II – In Situ Metrology for Decommissioning Nuclear Facilities

This project addresses how to ensure the safe disposal of radioactive waste from decommissioning nuclear sites. The key to dealing with such wastes is quantifying their radioactivity content, so that decommissioning can be planned and implemented to minimise the risk to members of the public and the environment. The project aims to provide nuclear site operators with measurement techniques that can be used to measure radioactivity for planning decommissioning, for segregating and checking waste materials during demolition, and for monitoring the condition of waste packages in radioactive waste repositories. The objectives of the project are:

- To develop and implement rapid methods for measuring the radioactivity content of materials on a nuclear site
- To develop and implement a novel automatic measurement system to check whether waste packages are safe for disposal or must be treated as radioactive waste
- To develop and implement a sophisticated radioactive waste characterisation system, suitable for use as a waste repository acceptance system for very low-, low- and intermediate-level radioactive waste
- To develop and implement (on site) measurement systems and methods for monitoring the condition of radioactive waste repositories, including airborne radioactivity and temperature/strain.

SHARE – A Roadmap for Research in Decommissioning

The main objective of the SHARE project is to increase coordination between the various stakeholders involved in research activities related to decommissioning and who have an interest in ensuring that decommissioning can be implemented in a safe, effective and sustainable manner. SHARE is providing an inclusive roadmap for stakeholders in Europe and beyond. The aim of this roadmap is to jointly improve safety, reduce costs and minimize environmental impact in the decommissioning of nuclear facilities for the next 10 to 15 years. It is anticipated that the outcomes of the SHARE project will be used to guide the future research agendas and priorities of the European Commission and other bodies, as well as foster greater cooperation for technical advances in the field of decommissioning.

THERAMIN – Thermal Treatment for Radioactive Waste Minimization and Hazard Reduction

THERAMIN aims to identify which wastes could benefit from thermal treatment, which thermal treatment processes are under development in participating countries, and how these treatments can be combined to deliver a wide range of benefits. The project ultimately addresses improved safe long-term storage and disposal of intermediate- and low-level radioactive waste streams (ILW and LLW). It targets improved understanding and optimisation of the application of thermal treatment in radioactive waste management programmes across Europe, improving the technology readiness level to accelerate industrial implementation. The project has:

- Provided an EU-wide strategic review and assessment of the value of thermal technologies applicable to a broad range of waste streams (ion exchange media, soft operational wastes, sludge, organics and liquids)
- Compiled an EU-wide database of thermally treatable wastes that will document the strategic benefits of thermal treatment and identify the opportunities, synergies, challenges, timescales and cost implications to improve radioactive waste management
- Evaluated the applicability and achievable volume reduction of the technologies through ‘first-of-a-kind’ active and non-active full-scale demonstration tests using six different thermal treatment technologies, and will assess the disposability of residues.

EURAD – European Joint Programme on Radioactive Waste Management

The EURAD joint program is a very large European-wide umbrella project addressing a range of waste management topics identified as pri-

orities by stakeholders within the Member States. EURAD consists of many work packages, each functioning as earlier projects but also having some synergies between them. EURAD consists of:

1. RD&D activities aiming at developing and consolidating scientific and technical knowledge for topics within the EURAD Strategic Research Agenda and Roadmap
2. Strategic studies as networks on methodological and strategic challenging issues that are common to various national programmes
3. Knowledge management to document the existing knowledge (State-of-Knowledge), guide the planning and implementation of a RD&D plan of national radioactive waste management programme, and develop/deliver training and mobility in-line with core competencies.

Posiva, VTT and University of Helsinki represent Finland within the EURAD General Assembly. VTT has a seat on the management Bureau of EURAD, representing the SITEX network of Technical Support Organisations.

EURAD has a co-funding principle, so that the European Commission is only covering on average 55% of costs and thus national-level co-financing is required to be provided by individual participants within the work packages. The driver for this is the EC policy to have a closer linkage to implementation, national priorities and investments for R&D. The work packages (WP) where Finnish institutes are participating are described below. It should be noted that additional work packages are anticipated to start in 2022, as only 70% of the program budget was allocated in the start of the program.

HITEC – Influence of Temperature on Clay-Based Material Behaviour:

HITEC develops and documents improved thermo-hydro-mechanical (THM) understanding of clay based materials (host rock and buffer) exposed to elevated temperatures (>100°C) for extended durations. The aim is to evaluate whether or not elevated temperature limits (of 100-150°C) are feasible and safe for a variety of geological disposal

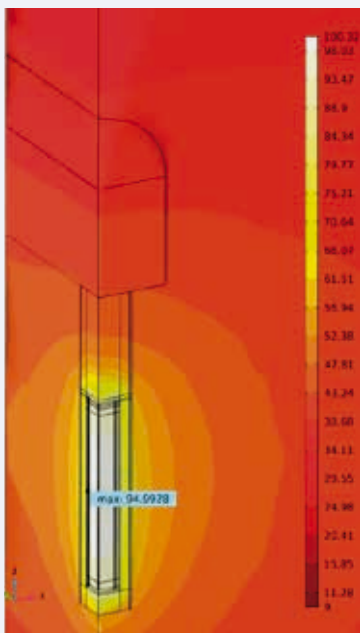


Figure 3. Example results from EURAD-HITEC project, with simulated temperature distribution surrounding a deposition hole to scope the thermal conditions for experiments (figure: Sami Naumer and Veli-Matti Pulkkanen, VTT).

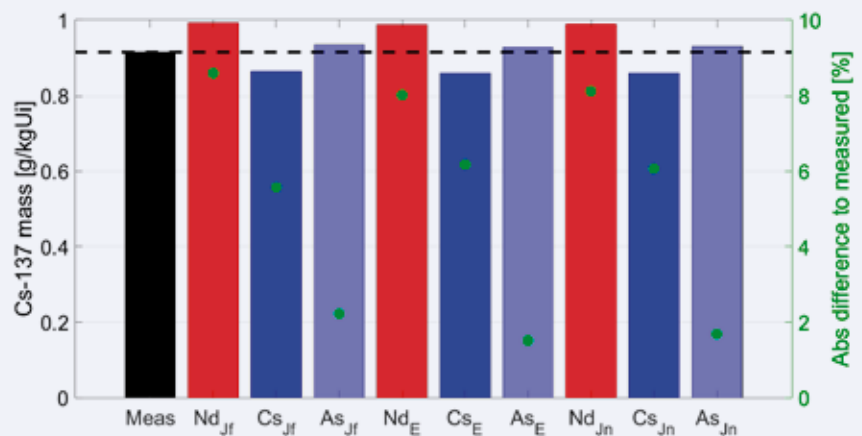


Figure 4. Example results from EURAD-SFC project, presenting measured (black bar) and calculated mass of Cs-137 in a 1 cm thick sample of a fuel rod irradiated in a BWR. Calculations have been performed with Serpent 2 using different cross section libraries (indicated as Jf, E and Jn). The different colours indicate normalization of the calculation based on different measurements of sample or assembly burnup (figure: Silja Häkkinen, VTT).

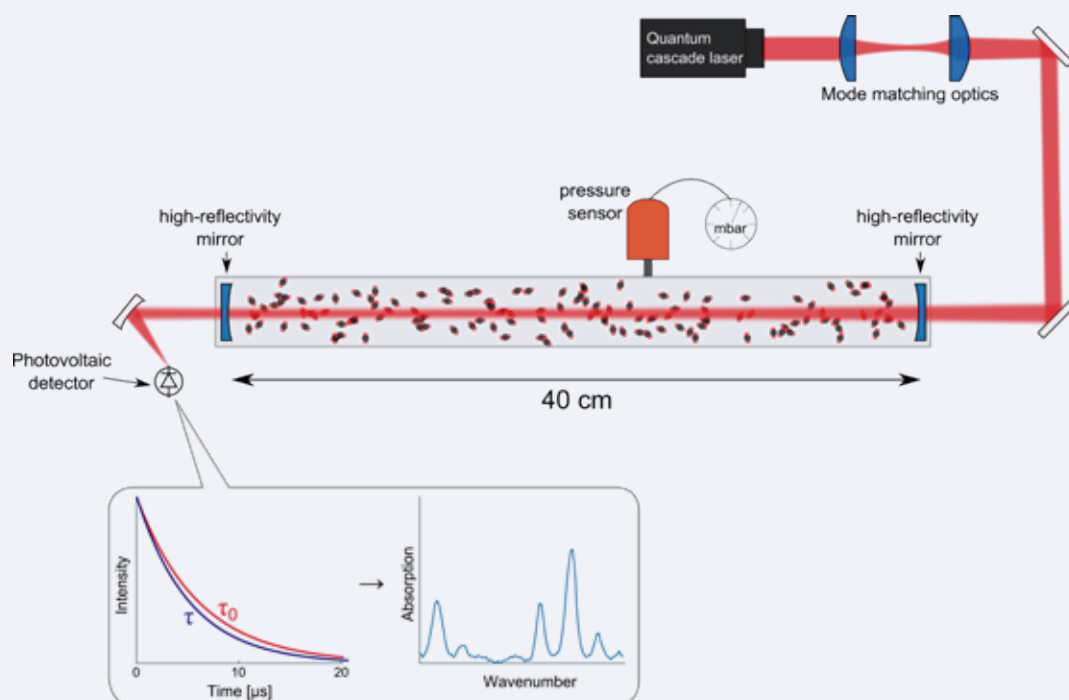


Figure 5. Schematic of the VTT laser spectroscopy system that is used in the CHANCE and METRODECOM II projects (figure: Guillaume Genoud, VTT).

concepts for high heat generating wastes (HHGW). The WP studies buffer bentonite and determines if elevated temperature influences the buffer swelling pressure, hydraulic conductivity, erosion or transport properties (i.e. inhibits buffer safety functions). HITEC also looks at clay host rock formations (<120°C) and demonstrates the possible extent of elevated temperature damage in the near or far field (e.g. from over pressurisation) and also the consequences of any such damage. The HITEC work package is coordinated by VTT.

SFC – Spent Fuel Characterisation and Evolution until Disposal:

SFC develops and documents an experimentally verified procedure to accurately determine the source term of irradiated spent fuels. It also develops characterisation techniques that will allow us to more fully understand the physiochemical evolution of irradiated spent fuels (pellets and cladding) under normal and credible accident scenarios following reactor discharge (i.e. during interim storage (wet and dry), transport to and emplacement in a geological disposal facility).

ACED – Assessment of Chemical Evolution of ILW and HLW Disposal

Cells: ACED improves the methodology to integrate knowledge on the geochemical processes in and between the materials in a disposal cell for ILW and HLW waste in order to understand and assess the long-term evolution of such a complex system. A multi-process and multi-scale modelling framework will enable the assessment of the chemical evolution at various material interfaces and thermal, hydraulic and/or chemical gradients from the microscale to the disposal cell scale (ILW, HLW) considering the near field environment and the host rock for larger

temporal scales. Starting from small-scale process understanding, it seeks to which detail geochemical processes need to be included for representative assessments of the chemical evolution in view of the needs of repository design and safety assessment.

GAS – Mechanistic Understanding of Gas Transport in Clay Materials:

GAS will provide data and develop process-level models to improve mechanistic understanding of gas transport processes in natural and engineered clay materials, including couplings with mechanical behaviour and impact on the clay properties. Experimental work will determine, for each identified gas transport regime, the conditions under which that regime is possible, in clay materials representative for host rock and clay EBS components. The obtained data will be pertinent for low (diffusion) to high (advection) gas transport rates. Work will also show how knowledge gained from lab and in situ experiments is integrated in the conceptualisation of gas transport through different components of a repository system and how gas could affect (or not) the performance of the system. This will involve (i) development of phenomenological descriptions of gas transport and of its likely consequences at the relevant scale and (ii) testing different approaches to represent the effects of gas at repository scale and bounding its consequences in terms of repository performance.

FUTURE – Fundamental Understanding of Radionuclide Retention:

FUTURE aims at realizing a step change in quantitative mechanistic understanding of radionuclide retention in the repository barrier system, i.e. the key mission of any repository for radioactive waste. In

consequence, the raison d'être of this WP concerns the identification of constraints and the increase in predictability of radionuclide migration properties in "real" clay and crystalline rocks. The influence of key parameters of the heterogeneous rock/water system such as rock structure, redox interfaces, water saturation, reversibility etc. are quantified. The goal is to develop multicomponent mechanistic sorption models, fracture and/or pore scale simulations of radionuclide transport in crystalline clay rock considering the combined analysis of reactivity, structure, flow field, and radionuclide mobility/retention.

DONUT – Development and Improvement Of Numerical Methods and Tools for Modelling Coupled Processes: DONUT will develop and improve specific numerical methods and tools that allow efficient modelling as coupled processes. The versatility of numerical methods with regards to the various tools used by "end-users" is considered. A demonstration of robustness and added-value of developments by benchmark of the methods and tools on representative test cases at large repository time and space scales is included.

UMAN – Understanding of Uncertainty, Risk and Safety: This strategic network is dedicated to the management of uncertainties potentially relevant to the safety of different radioactive waste management stages and programmes. It includes various activities such as exchanges on views, practices and uncertainty management options and the review of existing strategies, approaches and tools. Interactions between different types of actors including civil society are central to this WP. These interactions aim at meeting the shared

objective of fostering a mutual understanding of uncertainty management strategies, approaches and preferences. A particular focus is put on uncertainties in direct link with RD&D WPs and the Strategic Research Agenda of EURAD. The WP will consider past and present EU projects on the topics of interest and other initiatives carried out at the international level such as IAEA and NEA to avoid duplicating existing work. The WP will allow identifying the contribution of past and on-going RD&D projects to the overall management of uncertainties as well as remaining and emerging issues associated with uncertainty management that could be addressed in subsequent waves of EURAD.

PREDIS – Pre-disposal Management of Radioactive Waste Streams

The PREDIS project will provide new methods, processes and technologies for the management of waste streams that have been identified by waste producers as the major sources of challenges, needs and opportunities for better pre-disposal management. PREDIS is the second joint program of Euratom, following the same principles as EURAD as described earlier with a European-wide consortium membership and co-funding at a national level. The project focuses on R&D technologies, but also includes aspects of knowledge management, training and mobility similar to EURAD. PREDIS project is starting in autumn 2020, coordinated by Finland (VTT), and has objectives to:

- Develop solutions (methods, processes, technologies and demonstrators) for future treatment and conditioning across a number

Table 1. Summary of Euratom on-going radwaste project details.

Project	Duration	End User Contacts	Research Contacts	Web page
BEACON	2017–21	susanna.maanoja@posiva.fi	veli-matti.pulkkanen@vtt.fi, markku.t.kataja@jyu.fi	www.beacon-h2020.eu
CHANCE	2017–21		guillaume.genoud@vtt.fi	www.chance-h2020.eu
DISCO	2017–21	barbara.pastina@posiva.fi jani.huttunen@posiva.fi	emmi.myllykyla@vtt.fi	www.disco-h2020.eu
METRODECOM II	2017–20		guillaume.genoud@vtt.fi juha.toivonen@tuni.fi	empir.npl.co.uk/metrodecom
SHARE	2019–21	arto.kotipelto@tvo.fi	rafael.popper@vtt.fi, iiro.auterinen@vtt.fi	share-h2020.eu/
THERAMIN	2017–20	jere.tammela@tvo.fi	matti.nieminen@vtt.fi, markus.olin@vtt.fi	www.theramin-h2020.eu
EURAD-HITEC	2019–24	mika.niskanen@posiva.fi	markus.olin@vtt.fi, veli-matti.pulkkanen@vtt.fi markku.t.kataja@jyu.fi, jukka.kuva@gtk.fi, pirkko.holttu@helsinki.fi	www.ejp-eurad.eu
EURAD-ACED	2019–24		markku.leivo@vtt.fi	www.ejp-eurad.eu
EURAD-SFC	2019–24		silja.hakkinen@vtt.fi	www.ejp-eurad.eu
EURAD-FUTURE	2019–24		marja.siitari-kauppi@helsinki.fi	www.ejp-eurad.eu
EURAD-DONUT	2019–24		tarmo.lipping@tuni.fi	www.ejp-eurad.eu
EURAD-GAS	2019–24		wojciech.solowski@aalto.fi	www.ejp-eurad.eu
EURAD-UMAN	2019–22		marja.ylonen@vtt.fi ari.ikonen@envirocase.fi	www.ejp-eurad.eu
PREDIS	2020–24		maria.oksa@vtt.fi, erika.holt@vtt.fi	

of Member States, for waste where no or inadequate solutions are currently available, in order to avoid construction of new storage on sites or

- Improve existing solutions with safer, cheaper or more effective alternative processes if they bring measurable benefits to several MSs
- Analyse criteria, parameters and specifications for materials and packages with associated waste acceptance criteria (WAC) for pre-disposal and disposal activities.

Conclusion and way forward

Finland has been active in many new European-level projects to support research and development towards implementing final permanent geologic disposal of nuclear waste as well as in new projects focused more towards safer management of low- and intermediate-level waste and pre-disposal technologies. The two Joint Programme projects EURAD and PREDIS demonstrate a new era of project format where participation is linked to national and industrial priorities due to co-funding requirements. In these two cases combined, the EC contribution of about 46 million euros is matched by about 40 million euros at the national level by participants and their relevant stakeholders.

Nearly all of the European radwaste projects also have the target of engaging stakeholders or interacting with end user groups to provide direction to the project, and ensure faster implementation of the results. The projects also have an emphasis on training and mobility, with the intention of contributing to competence development of the

next generation of nuclear experts. A deeper level of international partnership has also aided knowledge transfer and cooperation on similar challenges for nuclear waste management issues. The topics within the projects focus to address pending issues needed for high-level waste management by Posiva Oy, but also pursue research on issues relevant to safer low- and intermediate-level storage and pre-disposal waste treatment optimization. Active discussions are underway to continue implementation of the recent results and address pending questions needed for Finland's advanced nuclear waste management program.

Acknowledgements

The authors wish to thank the European Commission, as the research leading to these results has received funding from the European Union's European Atomic Energy Community's (Euratom) program within Horizon2020 as well as the EMPIR programme. Some of the projects have also received national level co-funding from the KYT2022 program and/or industry.

References

- [1] Euratom, Horizon 2020, EU Framework Programme for Research and Innovation. 2015. see <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/euratom>
- [2] IGD-TP network: <https://igdtp.eu>
- [3] SITEX network: www.sitex.network
- [4] EURADSCIENCE Network: <http://hal.in2p3.fr/in2p3-02169313/document>
- [5] SNETP network: www.snetp.eu

Writers



Dr. Erika Holt

Customer Account Lead, Principal Scientist
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.
erika.holt@vtt.fi



Prof. Markus Olin

Research Professor
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.
markus.olin@vtt.fi



M.Sc. Tiina Jalonen

Director, Development
Posiva Oy
tiina.jalonen@posiva.fi

Intercomparison Exercise for Difficult-To-Measure Radionuclides in Activated Steel

Anumaija Leskinen¹, Susanna Salminen-Paatero²

¹VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, ²University of Helsinki, Radiochemistry Unit

Analysis of Difficult-To-Measure (DTM) radionuclides in decommissioning waste is a challenging task since the DTMs need to be separated radiochemically from the solid matrix and purified from each other and other interfering radionuclides. Currently there are no commercially available reference materials for DTMs in decommissioning waste, and therefore an international project was developed within the NKS (Nordic nuclear safety research) community in 2019 in order to carry out an intercomparison exercise on DTM analysis in activated steel. The results presented here were first published in an NKS final report [1] and further analysed by Leskinen et al. [2].

Vaikeasti mitattavien radionuklidien (Difficult-To-Measure, DTM) määrittäminen purkujätteessä on haastavaa, koska DTM:t tulee ensin erottaa matriisista sekä puhdistaa toisistaan ja muista häiritsevistä radionuklideista radio-kemiallisia menetelmiä käyttäen. Koska tällä hetkellä referenssimateriaaleja purkujätteen DTM- määrittäykseen ei ole kaupallisesti saatavilla, vuonna 2019 järjestettiin pohjoismaisen yhteisön NKS:n (Pohjoismainen ydinturvallisuustutkimus) kautta vertailumittaus DTM-määrittäykselle aktivoituneessa teräksessä. Tässä artikkelissa esitettävät tulokset on julkaistu ensin NKS-loppuraportissa [1]. Tuloksia on analysoitu lisää viitteessä [2].

Increasing number of research and power reactors are being shut down and decommissioned both worldwide and within the Nordic countries. The operators are challenged with characterisation and categorisation of the decommissioning waste according to national regulations. Non-destructive techniques are available for determination of gamma emitting radionuclides whereas destructive analysis is needed for DTM radionuclides. The destructive analysis of DTM requires radiochemical separation and purification methods, which often have several steps and depending on the material, the interfering radionuclides may cause significant errors in the results. For example, analysis of ⁵⁵Fe and ⁶³Ni in activated steel can be heavily interfered by ⁶⁰Co, which has quite similar chemistry with ⁵⁵Fe and ⁶³Ni and which emits high-energy gamma radiation. Therefore, a validation of the measurement method is compulsory in order to produce reliable results.

In analytical chemistry, reference materials are used for the validation. Radioactive reference materials are also available for analysis of radionuclides in environmental samples whereas there are no reference materials available for DTM analysis in decommissioning waste. One way of validating the radiochemical method is to use spiked samples which are often valid for testing of a procedure, but it has been shown for example in a previous NKS intercomparison exercise [3] that spiked samples can behave very differently to real samples.

Sample information

This article focuses on validation of the radiochemical method via carrying out an intercomparison exercise with several partners. Nordic laboratories participating in the exercise were VTT (coordinator, FI), Fortum Power and Heat Oy (FI), Helsinki University (FI), Cyclife Sweden

AB (SWE), IFE Halden (NO), IFE Kjeller (NO) and Technical University of Denmark (DEN). French Alternative Energies and Atomic Energy Commission CEA (FR) participated as self-funded. VTT provided the activated steel samples and all the partners analysed ^{55}Fe and ^{63}Ni activity concentrations. Additionally, some partners also analysed ^{14}C and ^{60}Co (not presented here). The results were analysed according to ISO 13528 standard [4].

Selection of the studied steel material was based on having measurable amounts of ^{55}Fe ($t_{1/2}=2.7$ y) and ^{63}Ni ($t_{1/2}=100.1$ y) in the samples, while keeping the dose rate to maximum of 30 $\mu\text{Sv/h}$. Thin samples were cut from a reactor pressure vessel (RPV) steel rod (10 cm x 1 cm x 1 cm) using an electron discharge machine (EDM). The oxidation layers were removed by dipping the samples into an oxidation removal solution and ethanol before letting them air dry. The samples were weighed and placed individually in small plastic bags.

Each sample was checked gamma spectrometrically for homogeneity using ^{60}Co activity concentration as a homogeneity indicator. The gamma measurements were carried out using an HPGe Be2020 spectrometer. All samples were individually measured using a sample holder with a constant distance from the detector in order to minimise double coincidence. The ^{60}Co results showed variation of 1.8 RSD% (relative standard deviation) for all the samples and thus the samples were considered homogenous. 2-3 samples were sent to the participants as exempted packages (UN2910 shipment). In total, 20 samples were studied.

Radiochemical analyses

Each participant carried out the DTM analysis using internal or published radiochemical procedures [5-13] and the anonymity was kept throughout the exercise. Therefore, the DTM analysis results were not linked with the radiochemical procedures, since many of the laboratories used their published procedures. All of the procedures had, however, similar steps, namely decomposition of the solid material, separation and purification of the DTMs and measurements.

Decompositions of the solid material were carried out using HNO_3 , HCl , H_2SO_4 , HClO_4 and HF acids with different mixtures and ratios. Most of the procedures also included heating of the sample and acid mixtures on a hot plate, a heating mantle or a microwave oven. Additions of carriers and hold-back carriers were carried out either before or after acid digestion. Separation of Fe and Ni from other elements was most often carried out using hydroxide precipitation at pH 8-9 using NaOH or NH_3 . The precipitation was dissolved and Fe and Ni were separated from each other using an anion exchange resin.

Most often, ^{55}Fe did not require further purification and liquid scintillation counting (LSC) and yield measurement samples were prepared. ^{63}Ni analysis was heavily challenged by ^{60}Co , because Co follows Ni chemically. Therefore, further purification of Ni fraction was needed and most often extraction chromatographic Ni resin columns were utilised once or twice to purify Ni fraction from Co after which LSC and yield samples were prepared. Yield measurements were carried out mainly using elemental analysis techniques (e.g. ICP-MS, ICP-OES, MP-AES or UV-Vis).

Radiochemical analysis of ^{14}C differed from the ^{55}Fe and ^{63}Ni procedures, since ^{14}C is a volatile DTM and it is normally oxidised to CO_2 and trapped into a trapping solution. Oxidisation of carbon to CO_2 was carried out either using oxidative acids or an equipment dedicated for volatile DTM analysis (e.g. Pyrolyser, Oxidiser or Pyrooxidiser). Yield measurements for ^{14}C were carried out experimentally separate to the analysis.

Methodology for statistical analysis

Statistical analysis of the results was carried out using the ISO 13528 standard [4]. The assigned values, to which the results were compared to, were calculated from the ^{14}C , ^{55}Fe , and ^{63}Ni activity concentration results provided by the participants. This was made possible by utilising an Algorithm A, which is robust for outliers, to calculate robust mean and robust standard deviation. Performance assessment was carried out using z score (Eq. 1), which showed result's deviation from the assigned value. In cases where the robust standard deviation was large, another value for σ_{pt} was used so that the results that are not fit for purpose received an action signal. According to the standard, the intercomparison exercise organiser can decide the value. In cases where the robust standard deviation was large ($1\sigma > 20\%$), the uncertainty of the assigned value (Eq. 2) was used as σ_{pt} . The analysis results with z score were marked as acceptable when $z \leq 2.0$, a warning signal was given for results with $2.0 < z < 3.0$, and results were unacceptable for $z \geq 3.0$.

$$z_i = (x_i - x_{\text{pt}}) / \sigma_{\text{pt}} \quad (1)$$

where

x_{pt} = the assigned value

σ_{pt} = standard deviation for the proficiency assessment

$$u(x_{\text{pt}}) = 1.25 \times s^* / p^{0.5} \quad (2)$$

where

s^* = robust standard deviation of the results

p = number of samples

Statistical analysis of the results

The statistical analysis methodology was applied to the preliminary results, which the participants submitted prior to final meeting of the project. After the final meeting discussions, some participants expressed their interest to recalculate the results, since, for example, quenching correction of LSC had a significant effect on the results. For example, one participant prepared a new quenching curve for ^{55}Fe and the recalculated results were better aligned with the other submitted results. Additionally, some participants planned to submit more analysis results. The results shown here are the final results.

The radiochemical analysis results for ^{55}Fe , ^{63}Ni and ^{14}C and corresponding assigned values are presented in Figures 1-3 and z score results in Table 1. Since the robust standard deviations of the assigned values were larger than 20%, uncertainties of the assigned values were used in the z score calculations. The analysis of ^{55}Fe was reported to be relatively easy without interference by ^{60}Co . The z score results showed that 57% of the results were in the acceptable range whereas 10% were in the warning signal range. The results in unacceptable range included replicates of sample 14 in which the yield was only estimated to be 90% instead of experimental determination. Analysis of samples 19-20 may have had problems in the LSC and yield analysis.

The analysis of ^{63}Ni was reported to be significantly interfered by ^{60}Co . However, careful purification processes of ^{63}Ni fractions produced comparable results. The z score results showed that 60% of the results were in the acceptable range whereas 40% of the results were in unacceptable range. For example, results of samples 9, 11 and 20 were clearly below the average trend and thus not interfered by ^{60}Co ,

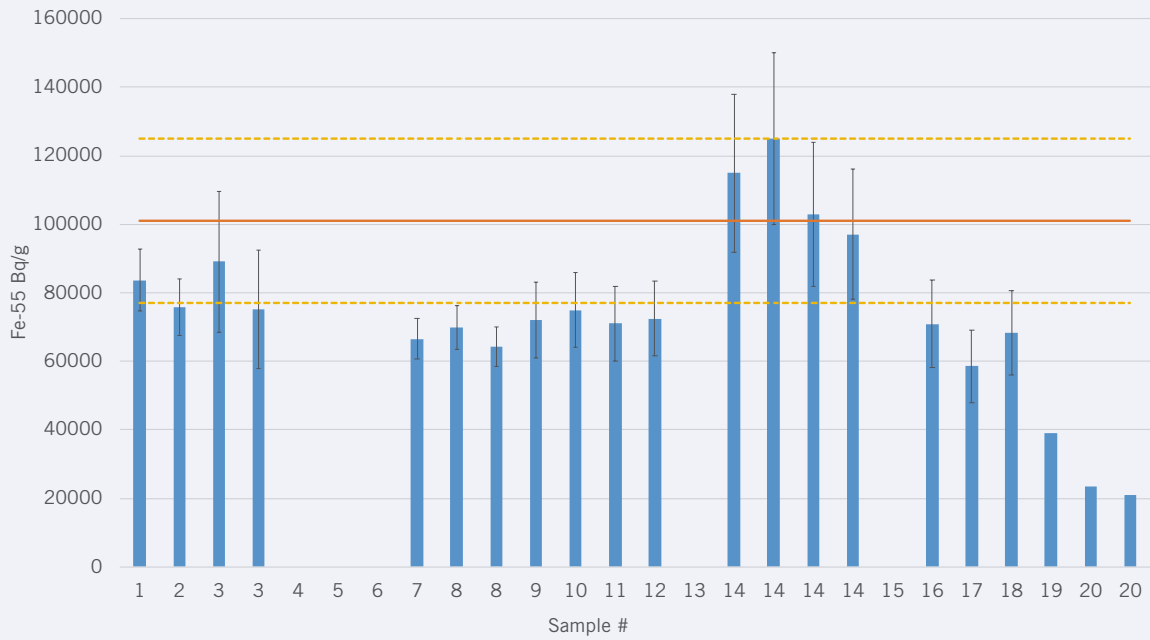


Figure 1. ⁵⁵Fe radiochemical analysis results with 2σ uncertainties. Assigned value (red line) with 2σ uncertainty (yellow dotted lines) calculated from the radiochemical analysis results.

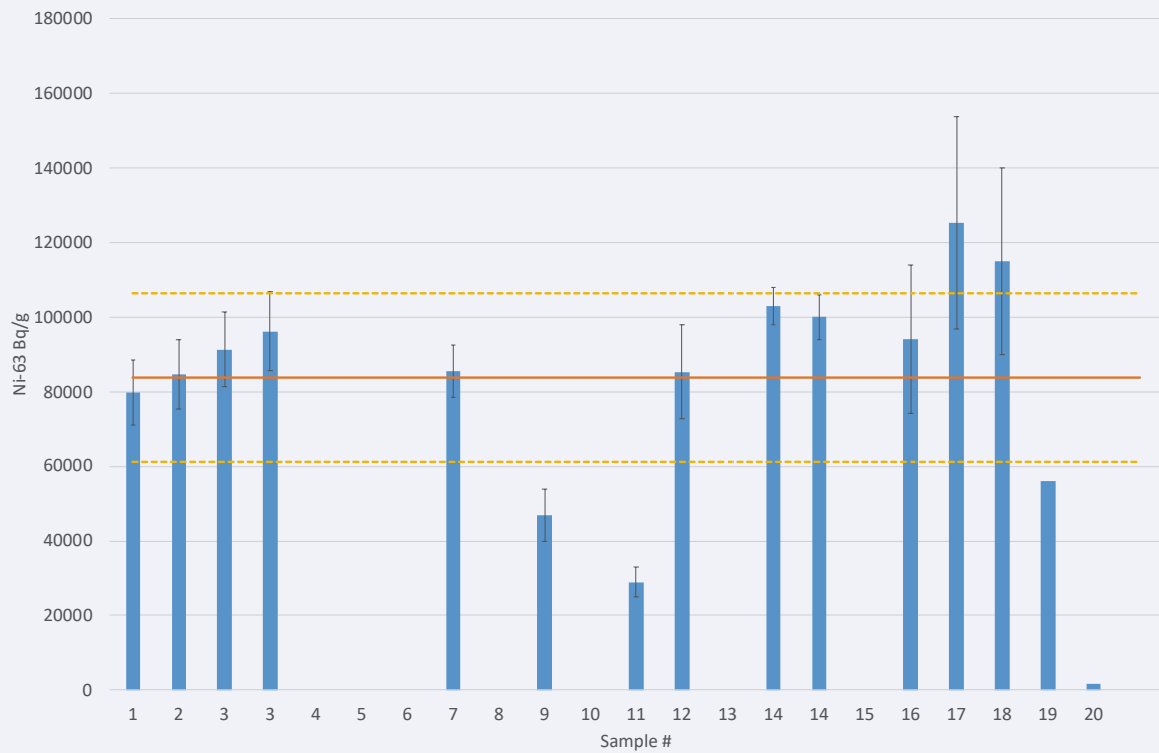


Figure 2. ⁶³Ni radiochemical analysis results with 2σ uncertainties. Assigned value (red line) with 2σ uncertainty (yellow dotted lines) calculated from the radiochemical analysis results.

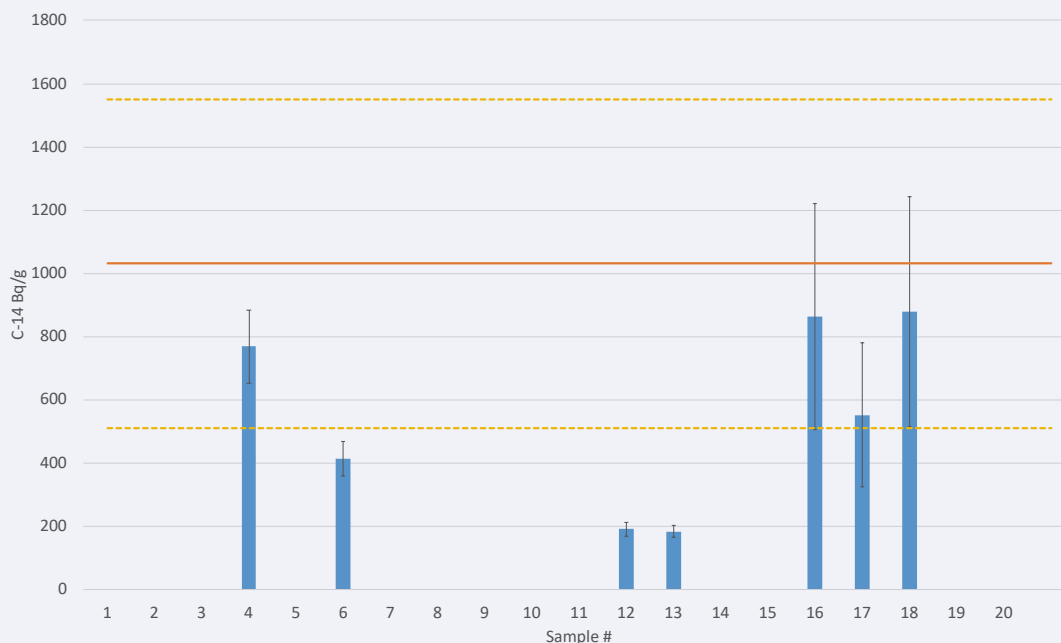


Figure 3. ^{14}C radiochemical analysis results with 2σ uncertainties. Assigned value (red line) with 2σ uncertainty (yellow dotted lines) calculated from the radiochemical analysis results.

Table 1. Calculated z scores for ^{55}Fe , ^{63}Ni and ^{14}C results. Acceptable results in green, warning signal in orange and unacceptable in red.

Sample number	^{55}Fe z score	^{63}Ni z score	^{14}C z score
1	1,6	0,8	-
2	0,4	0,2	-
3	2,5	0,6	-
3	0,5	1,1	-
4	-	-	1,5
5	-	-	-
6	-	-	0,8
7	1,2	0,1	-
8	0,6	-	-
8	1,5	-	-
9	0,3	4,5	-
10	0,2	-	-
11	0,4	6,5	-
12	0,2	0,1	2,3
13	-	-	2,3
14	6,8	1,9	-
14	8,4	1,5	-
14	4,8	-	-
14	3,8	-	-
16	0,5	0,6	2,1
17	2,5	4,4	0,1
18	0,9	3,2	2,2
19	5,7	3,4	-
20	8,3	9,6	-
20	8,7	-	-

which would have increased the measured activity. The deviance may be caused by inadequate LSC quenching correction, elemental analysis of Ni in both original sample and in the purified solution after radiochemical analysis and/or mass correction calculations.

Radiochemical analysis of ^{14}C was optional and only 4 laboratories submitted results. ^{14}C analysis has several major steps, which affect the results significantly making the analysis especially difficult. For example, analysis of ^{14}C requires complete separation of carbon from the matrix, its oxidation to CO_2 and quantitative trapping of the CO_2 into a trapping solution. Yield in the trapping solution is determined experimentally with a standard solution. As discussed earlier, behaviour of a standard solution and a real sample can be very different. However, all the results were either in the acceptable or warning signal range.

As a conclusion, the intercomparison of DTM analysis in activated steel produced a very interesting set of results, which were further analysed and compared with activity calculation results. Activity calculations were made possible by known parameters of the original RPV steel, e.g. chemical composition of the original material, irradiation history and cooling time [2].

Acknowledgements

The authors would like to thank the Nordic Nuclear Research NKS-B programme for funding the DTM Decom project in which the intercomparison exercise was carried out and the project partners, namely Technical University of Denmark, Cyclife Sweden AB, Fortum Power and Heat Oy, IFE Kjeller, IFE Halden and CEA. National funding was given by Finnish Research Programme on Nuclear Waste Management KYT2022. The authors would also like to thank Fortum Power and Heat Oy for their collaborative actions.

References

- [1] Leskinen A, Tanhua-Tyrkkö M, Kekki T, Salminen Paatero S, Zhang W, Hou X, Stenberg Bruzell F, Suutari T, Kangas S, Rautio S, Wendel C, Bourgeaux-Goget M, Stordal S, Isdahl I, Fichet P, Gautier C, Brennetot R, Lambrot G, Laporte E (2020). Intercomparison exercise in analysis of DTM in decommissioning waste. NKS-429, NKS-B, Roskilde, Denmark, 2020.
- [2] Leskinen A, Salminen-Paatero S, Gautier C, Rätty A, Tanhua-Tyrkkö M, Fichet P, Kekki T, Zhang W, Bubendorff J, Laporte E, Lambrot G, Brennetot R (2020) Intercomparison exercise on difficult to measure radionuclides in activated steel: statistical analysis of radioanalytical results and activation calculations . J Radioanal Nucl Chem, <https://doi.org/10.1007/s10967-020-07181-x>
- [3] X. Hou, L. Togneri, M. Olsson, S. Englund, O. Gottfridsson, M. Forsström, H. Hironen, Standardization of Radioanalytical Methods for Determination of Ni-63 and Fe-55 in waste and environmental samples, NKS-356, 2016
- [4] International Standard ISO 13528:2015(E) (2015) Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison
- [5] Leskinen A, Salminen-Paatero S, Rätty A, Tanhua-Tyrkkö M, Iso-Markku T, Puukko E (2020) Determination of ¹⁴C, ⁵⁵Fe, ⁶³Ni and gamma emitters in activated RPV steel samples - a comparison between calculations and experimental analysis. J Radioanal Nucl Chem 323:399-413
- [6] Gautier C, Colin C, Garcia C (2015) A comparative study using liquid scintillation counting to determine ⁶³Ni in low and intermediate level radioactive waste. J Radioanal Nucl Chem 308:261-270
- [7] Hou X (2005) Rapid analysis of ¹⁴C and ³H in graphite and concrete for decommissioning of nuclear reactor. Appl Radiat Isotop 62:871-882
- [8] Hou X, Østergaard L.F., Nielsen S.P. (2005a) Determination of ⁶³Ni and ⁵⁵Fe in nuclear waste samples using radiochemical separation and liquid scintillation counting. Anal Chim Acta 535(1-2): 297-307
- [9] Hou X.L., Østergaard L.F., Nielsen S.P. (2005b) Determination of ⁶³Ni and ⁵⁵Fe in nuclear waste and environmental samples. Anal Chim Acta 535:297-307
- [10] Hou, X.L., Østergaard L.F., Nielsen S.P. (2007). Determination of ³⁶Cl in Nuclear Waste from Reactor Decommissioning. Anal Chem 79:3126-3134
- [11] Hou X. (2018) Analytical procedure for simultaneous determination of ⁶³Ni and ⁵⁵Fe. NKS-B RadWorkshop
- [12] Hazan I, Korkisch J (1965) Anion-exchange separation of iron, cobalt and nickel. Anal Chim Acta 32:46-51
- [13] Brennetot R, Giuliani M, Guégan S, Fichet P, Chiri L, Deloffre P, Masset A, Mougél C, Bachelet F (2017) ³H measurement in radioactive wastes: Efficiency of the pyrolysis method to extract tritium from aqueous effluent, oil and concrete. Fusion Science and Technology 71:397-402

Writers



Dr. Anumaija Leskinen
Research Scientist
Technical Research Centre of Finland Ltd.
anumaija.leskinen@vtt.fi



Dr. Susanna Salminen-Paatero
University Researcher
University of Helsinki, Department of Chemistry, Radiochemistry
susanna.salminen-paatero@helsinki.fi

Väitöskirja: Ydinpolttoaineen termokemiallinen ja termomekaaninen mallinnus

Henri Loukusa
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Ydinpolttoaineen kokeellinen tutkiminen on kallista ja aikaavievää, sillä säteilytetty ydinpolttoaine on erittäin radioaktiivista. Laskennalliset työkalut ovatkin korvaamattomia selvittäessä ydinpolttoaineen käytöstä erilaisissa tilanteissa. Kelpoistetuille laskentatyökaluille voidaan osoittaa ydinpolttoaineelle asetettujen turvallisuusvaatimusten täyttyvän. Ydinpolttoaineen mallintaminen erityisesti pitkien säteilytysten aikana on vaativaa, koska säteilyn vaikutuksesta polttoaineessa tapahtuu erilaisia muutoksia sen materiaaliominaisuuksissa, mittasuhteissa ja koostumuksessa. Väitöskirjassa kehitettiin menetelmiä ja työkaluja ydinpolttoaineen kemian ja termomekaniikan mallintamiseen.

The experimental study of nuclear fuel is expensive and time-consuming as irradiated nuclear fuel is very radioactive. Computational tools are invaluable in determining the behavior of nuclear fuel in different circumstances. Well-validated tools can be used to show compliance with regulatory criteria set for nuclear fuel, for example. The modeling of nuclear fuel behavior – especially during long irradiations – is challenging, as irradiation causes many changes in the material properties, dimensions and composition of the fuel. Computational methods and tools were developed for analysis of nuclear fuel chemistry and thermomechanics in this dissertation.

Ydinpolttoaine on ehkäpä keskeisin osa ydinreaktoria. Tyypillisesti ydinpolttoaine koostuu keraamisista polttoainepelleteistä, jotka on pakattu zirkoniumseoksesta valmistettuun suojakuoriputkeen. Sadasta pariin sataan tällaista polttoainesauvaa on koottu polttoainenipuksi, ja nippuja on edelleen yhdessä ydinreaktorissa satoja.

Samalla kun atomiytimet halkeavat reaktorissa ja kaivattua lämpöenergiaa vapautuu, erilaisia radioaktiivisia nuklideja, fissiotuotteita, syntyy polttoaineeseen. Säteilyttämätön polttoaine on tyypillisissä kevytvesireaktoreissa yleensä uraanidioksidiä, kun taas säteilytetyssä polttoaineessa on uraanidioksidin lisäksi lukematon määrä erilaisia fissiotuotteiden muodostamia kemiallisia yhdisteitä. Reaktorissa ydinpolttoaineen materiaalit altistuvat lisäksi korkealle lämpötilalle, ja lämpötilaero puolen sentin matkalla polttoainepelletin pinnalta sen keskelle on helposti satoja asteita. Tämän lisäksi reaktorissa on käytön aikana korkea säteilykenttä. Korkeaenergiset neutronit ja fissiofragmentit, eli fissiosta kineettistä energiaa saaneet fissiotuoteytimet, aiheuttavat eriten säteilyvaurioita.

Yllämainittujen ilmiöiden takia polttoaineen ominaisuudet muuttuvat ajan myötä. Lämmönjohtavuus laskee kidevirheiden kasaantuessa, suojakuori kovenee ja haurastuu, pelletti halkeilee lämpölaajenemisen johdosta ja kaasumaisia fissiotuotteita syntyy polttoainepellettiin. Jälkimmäiset voivat lopulta kasvattaa polttoainesauvan sisäistä painetta, mikä voi pahimmillaan johtaa suojakuorivaurioon. Polttoaineessa tapahtuvia ilmiöitä kuvaa yleistasolla edelleen parhaiten 1970-luvulla

julkaistu Fundamental Aspects of Nuclear Reactor Fuel Elements [1], joka on vapaasti saatavilla sähköisesti.

Polttoainetta insinööritasolla mallinnettaessa polttoaineen materiaaliominaisuuksia kuvataan yksinkertaisilla malleilla, joita tyypillisesti kutsutaan korrelaatioiksi. Nämä mallit kuvaavat materiaaliominaisuuksia



Kuva 1. Luonnonuraanipellettejä, joita ei ole säteilytetty, voidaan käyttää polttoainemateriaalien perustutkimuksessa esimerkiksi mikrorakennetta tai pohjaveteen liukenemistä tutkittaessa.

sia useimmiten palaman funktiona. Palama on yksinkertaisesti polttoaineen raskasmetallipainoyksikköä vastaan tuottama energiamäärä, tyypillisesti esimerkiksi yksikössä MWd/kgHM, jossa HM viittaa raskasmetalliin, heavy metal. Palaman käyttäminen tällä tavoin on raaka yksinkertaistus, sillä jotkin palaman kasvaessa tapahtuvat muutokset johtuvat koostumuksen muutoksesta, toiset säteilyn vaikutuksista ja kolmannet vaikkapa lämpötilan muutosnopeudesta. Käytännössä tällaiset mallit ovat helppoja käyttää, mutta niiden tarkkuudessa on usein parannettavaa eikä niitä voi missään nimessä käyttää alkupe- räisen, mallin pohjana olevan parametrialueen ulkopuolella.

Polttoaineessa esiintyy lähes koko jaksollinen järjestelmä

Uraanin haljetessa syntyy yleensä kaksi tai harvoin kolme fissiotuote- ydintä ja pieni määrä neutroneita. Halkeamisessa ei synny aina samoja fissiotuotteita, vaan syntyvät fissiotuotteet noudattavat atomiluvultaan tiettyä jakaumaa. Jakaumalla on kaksi huippua, yksi noin massaluvun 95 paikkeilla ja toinen noin massaluvun 140 paikkeilla. Jotkin yleisimmistä fissiotuotteista ovat määrältään laskevassa järjestyksessä ksenon, neo- dyymi, palladium, molybdeeni, zirkonium, rutenium, barium ja cesium. Joitakin alkuaineita kuten jodia syntyy vähäisemmissä määrin, mutta näil- lä voi olla silti vaikutusta polttoaineen käyttöön ominaisuuksiensa takia.

Neutronikaappauksen takia uraanista syntyy lisäksi korkeam- pia aktinideja, plutoniumia, amerikumia, curiumia ja niin edelleen. Laskennallisesti polttoaineeseen syntyy ainakin 71:tä eri alkuainetta [2], kun jaksollisessa järjestelmässä on noin 100 jossain määrin tärkeää tai suuremmissa määrin olemassaolevaa alkuainetta. Kukin alkuaine voi muodostaa kymmeniä tai satoja erilaisia kemiallisia yhdisteitä, joten kemiallisen koostumuksen selvittäminen on erittäin haastavaa.

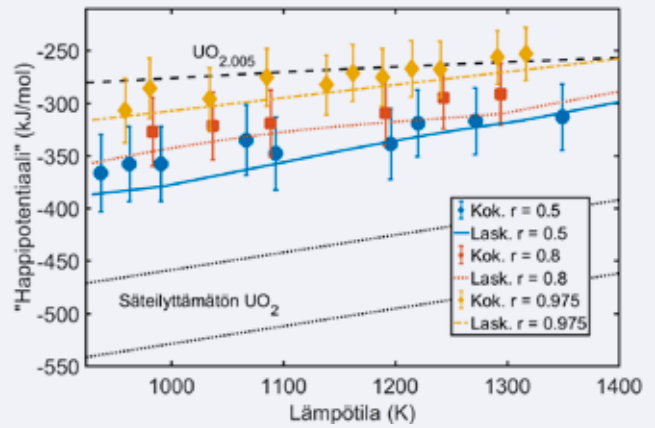
Väitöskirjan ensimmäinen osa keskittyi tämän kemiallisen koostu- muksen selvittämiseen laskennallisin keinoin. Kemiallisen koostu- muksen laskennassa voidaan joko lähteä seuraamaan koostumuksen muutosta ajassa, jokainen kemiallinen reaktio huomioon ottaen, tai selvittää suoraan termodynaaminen tasapainotila, johon kemiallisen koostumuksen pitäisi lopulta päätyä. Reaktioiden kautta mallintamalla tarvitaan tieto jokaisesta reaktiosta ja niiden nopeuksista, eikä tällaista tietoa ole läheskään tarpeeksi saatavilla.

Termodynamiikan kautta mallintamalla tarvitaan vain tieto erilaisten mahdollisten yhdisteiden termodynaamisista suureista: muodostumis- entalpiasta, standardientropiasta ja lämpökapasiteetista. Näitä kirjalli- suudesta löytyy jopa ydinpolttoaineelle riittämiin. Väitöskirjassa käytettiin kanadalaisen Royal Military College of Canadan tietokantaa ydinpolttoai- neen termodynaamiselle datalle. Väitöskirjassa kehitettiin laskentaohjel- ma koostumuksen määrittämiseen Gibbsin energian minimoinnin me- netelmällä, jolla löydetty koostumus Gibbsin energian minimissä vastaa haluttua termodynaamista tasapainotilaa vakiopaineessa ja -lämpötilassa.

Erytisesti väitöskirjassa keskityttiin polttoaineen sisältämän hapen ja erilaisten syövyttävien yhdisteiden käyttöön. Kummallakin on merkitys- tä pelletin ja suojakuoren vuorovaikutuksen (pellet-cladding interaction, PCI) aiheuttamien suojakuorivaurioiden kannalta [3]. Pelletin hapella on huomattu olevan suojakuoren säröytymistä estävä vaikutus [4,5], kun taas erilaiset jodi-, telluuri- tai kadmiumpyhdisteet edistävät säröjen syntyä [3]. Väitöskirjassa laskettua vapaan hapen määrää kuvaavaa ”happipotentialia” verrattiin kokeellisiin tuloksiin, ja kuvasta 2 voidaan nähdä, että laskennalliset tulokset vastaavat likipitään kokeellisesti mitattuja arvoja.

Polttoaineen lämpötila mallinnetaan tarkasti

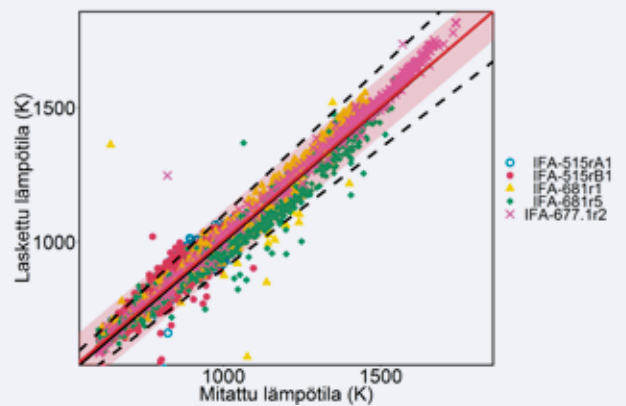
Väitöskirjan toisessa osassa parannettiin VTT:llä 2010-luvun alkupuolella alun perin kehitettyä polttoainemalli FINIXiä [6]. FINIX on suunni-



Kuva 2. Laskennallisesti arvioitu ”happipotentiali” lämpötilan funktiona verrattuna kokeellisesti säteilytetystä polttoaineesta mitattuihin arvoihin. Suure r viittaa pelletin suhteelliseen säteeseen, arvo 0,5 on puolivälistä matkaa pelletin keskikohdasta sen reunalle. ”Lask.” viittaa laskettuun arvoon, kun taas ”Kok.” viittaa kokeelliseen arvoon.

teltu tarjoamaan tarkempi polttoaineen kuvaus muille reaktorisydämen fysiikkaa kuvaaville laskentaohjelmistoille, kuten neutroniikka- ja termohydrauliikkaohjelmille. Monet polttoainemallit ovat peräisin 1970-lu- vulta ja niiden ohjelmointistandardit ovat usein edelleen tuon ajan mu- kaiset. Vanhojen polttoainemallien kytkeminen toisiin laskentaohjelmiin saattaa tuottaa joskus päänvaivaa tutkijalle. FINIXin kytkentärajapin- ta sen sijaan tuottaa huomattavasti vähemmän päänvaivaa.

FINIX kuvaa kuitenkin vain yhtä polttoainesauvaa kerrallaan, ja kuten aiemmin sanotusta voi päätellä, sauvoja on reaktorisydä- messä kymmeniä tuhansia. FINIXistä kehitetäänkin SAFIR2022- tutkimusohjelman LONKERO-projektissa myös kokosydänlaskuihin soveltuvaa SuperFINIX-ohjelmaa, jolla koko sydämelle lasketut termo- hydrauliset ja tehotehysreunaehdot voidaan jakaa useammille yksit- täistä sauvaava FINIX-ratkaisijoille.



Kuva 3. FINIXillä laskettu lämpötila verrattuna Haldenin kooreaktorissa säteilytetystä sauvoista kokeellisesti mitattuihin lämpötiloihin. Punainen viiva on lineaarisovite pisteisiin: mitä lähempänä diagonaalia, sitä lähem- pänä todellisuutta laskentatulokset keskimäärin ovat. Mustat katkoviivat vastaavat kymmenen prosentin poikkeamaa mitatusta lämpötilasta.

Väitöskirjatyössä FINIXiin toteutettiin useita säteilytyksestä riippuvaisia malleja, joiden avulla sen laskemia ennusteita polttoaineen käytökselle parannettiin [7]. Mallit koskivat niin pelletin ja suojakuoren muodonmuutoksia kuin fissiokaasujen vapautumista pelletistä sauvan sisäisen vapaaseen kaasutilavuuteen. Mallien kelpoistamisessa väitöskirjassa keskityttiin erityisesti lämpötilaennusteiden parantamiseen, sillä lämpötila on yksi tärkeimmistä muiden fyysikoiden kuvauksissa käytetyistä polttoaineparametreista. Lämpötila vaikuttaa neutronien kulkeutumiseen ja lopulta tehoon, ja lämpövuoto suojakuoresta jäähdytykseen on tärkeä reunaehto jäähdytteen termohydrauliikan ratkaisemiseksi.

Kuvassa 3 on esitetty FINIXillä laskettuja lämpötilatuloksia verrattuna kokeellisesti mitattuihin lämpötiloihin. Kokeellisesti mitattuja lämpötiloja Haldenin koereaktorissa säteilytyksestä koeksuista käytettiin kelpoistamisessa. Norjalainen Haldenin koereaktori, joka suljettiin lopullisesti keuhällä 2018, tuotti vuosikymmeniä tällaista tietoa polttoaineen käytöksestä. Tyypillisesti reaktorissa säteilytettävään lyhyeen sauvan pätkään porataan reikä, ja reikään asetetaan termopari paikallista lämpötilamittausta varten, tai volframilanka, jonka lämpölaajenemista seuraamalla saadaan tieto keskilämpötilasta koko langan matkalta.

Reaktorianalyseistä loppusijoitukseen

Polttoainemalleilla kuten millä tahansa laskennallisilla malleilla lasketut tulokset ovat vain yhtä tarkkoja kuin niihin syötteenä annettu informaatio. Väitöskirjan kolmannessa osassa keskityttiin fissiokaasujen vapautumisosuuden epävarmuuksien huomioonottamiseen. Fissiokaasuja, pääasiassa ksenonia ja kryptonin, muodostuu tasaisesti kiinteän polttoainepelletin sisään, mutta ajan myötä ja kaasumäärän kasvaessa ne muodostavat kuplia. Kuplista kaasut voivat lopulta vapautua sauvan vapaaseen kaasutilavuuteen ja kasvattaa sauvan sisäistä painetta.

Sisäiseen kaasutilavuuteen vapautunutta fissiokaasuosuutta voidaan käyttää arvioimaan myös muiden, herkästi höyrystyvien fissiotuotteiden vapautumista kiinteästä polttoainepelletistä. Tällaisia fissiotuotteita ovat erityisesti jodi ja cesium. Polttoaineen loppusijoituksessa jodin ja cesiumin sijainnilla polttoainesauvassa on erityisesti väliä, sillä tämä vapaammin pohjaveden kanssa kosketuksissa oleva osuus fissiotuotteista myös liukenee pohjaveteen nopeammin kuin kiinteän polttoainepelletin sisällä olevat fissiotuotteet. Tätä osuutta kutsutaan välittömäksi vapautumisosuudeksi.

Loppusijoitusanalyseissä yksittäisen sauvan käytös ei ole yhtä kiinnostava kuin koko polttoainepinon tai vaikkapa koko loppusijoituskapselin, jossa on useita polttoainepinuja. Polttoainemallilla voidaan kuitenkin mallintaa pelkästään yhtä sauvaa kerrallaan. Väitöskirjassa kehitettiin tilastollinen menetelmä nippujen fissiokaasujen vapautumisosuuden arvioimiseksi käyttäen yksittäisistä polttoainesauvoista laskettuja tuloksia ja ottaen huomioon laskentamallin ja sen syötteiden epävarmuudet [8]. Tuloksilla voidaan arvioida välitöntä vapautumisosuutta loppusijoitusanalyseissä. Menetelmällä voidaan laskea helposti kokonaisia poistoeriä nippuja, jotka voivat tyypillisesti sisältää vaikkapa kymmeniä tuhatta erillistä polttoainesauvaa. Jotta epävarmuudet saadaan otettua huomioon, on jokaista sauvaa lisäksi laskettava vähintään kymmeniä kertoja varioiden malliparametrien ja lähtötietojen arvoja. VTT:n laskentatietokoneilla tämä satojen tuhansien polttoainelaskujen ongelma ratkeaa päivässä.

Väitöskirja ”Thermochemical and thermomechanical modeling of nuclear fuel” tarkastettiin 28.2.2020 Aalto-yliopistossa. Vastaväittäjänä toimi tohtori Jerome Sercombe (CEA Cadarache, Ranska). Kustoksena toimi professori Filip Tuomisto Aalto-yliopistosta. Väitöskirja on saatavilla sähköisessä muodossa osoitteessa <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-8943-0>

Viitteet

- [1] Olander, D. R. *Fundamental Aspects of Nuclear Reactor Fuel Elements* (1976). Department of Nuclear Engineering, University of California, Berkeley. DOI: 10.2172/7343826.
- [2] Loukusa, H., Ikonen, T., Valtavirta, V., & Tulkki, V. (2016). Thermochemical modeling of nuclear fuel and the effects of oxygen potential buffers. *Journal of Nuclear Materials*, 481, 101–110. DOI: 10.1016/j.jnucmat.2016.09.014.
- [3] Piro, M. H. A., Sunderland, D., Livingstone, S., Sercombe, J., Revie, W., Quastel, A., Terrani, K., Judge, C. (2017). A Review of Pellet-Clad Interaction Behavior in Zirconium Alloy Fuel Cladding. In *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.09799-X.
- [4] Davies, J. H., Hoshi, E. V., & Zimmerman, D. L. (1999). Ramp test behavior of high O/U fuel. *J. Nucl. Mater.*, 270, 87–95. DOI: 10.1016/S0022-3115(98)00756-9.
- [5] Jädernäs, D., Corleoni, F., Puranen, A., Tejlund, P., & Granfors, M. (2015). PCI mitigation using fuel additives. In *Proceedings of TopFuel* (s. 362–371).
- [6] Ikonen, T., Loukusa, H., Syrjälahti, E., Valtavirta, V., Leppänen, J., & Tulkki, V. (2014). Module for thermomechanical modeling of LWR fuel in multiphysics simulations. *Annals of Nuclear Energy*, 111–121. DOI: 10.1016/j.anucene.2014.11.004.
- [7] Loukusa, H., Peltonen, J., Valtavirta, V., & Tulkki, V. (2020). Implementation of burnup effects in the multiphysics fuel behavior module FINIX. *Annals of Nuclear Energy*, 136, 107022. DOI: 10.1016/j.anucene.2019.107022.
- [8] Loukusa, H., & Tulkki, V. (2020). Determination of tolerance limits for fuel assembly fission gas release summary statistics. *Nuclear Engineering and Design*, 358, 110438. DOI: 10.1016/j.nuceng-des.2019.110438.

Kirjoittaja



TkT Henri Loukusa

Research scientist

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

henri.loukusa@vtt.fi

Poikkeusoloissa turvallisuusajattelukin on poikkeuksellista ja asiat epätavanomaisia

MYÖS KORONA-AJAKSI KUTSUTTU meneillään oleva poikkeusolojen aika, jonka kestosta, sisällöstä ja laajuudesta ei voi sanoa mitään varmaa - arvailta vain kestoksi että vuosi nyt kuitenkin, ehkä kaksi, kolme - on tuottanut paljon uusia termejä ja käsitteitä. Yksi sellainen hallituksen paljolti käyttämä käsite on uusi normaali. Ikään kuin olisi olemassa jokin vanha normaali. Kyllä suomalaiset hyväntahtoisuuttaan ilmaisun toki ymmärtävät, vieläpä kutakuinkin hallituksen tarkoittamalla sisällöllä, mutta en malta olla muistelematta erästä vuosikymmenien takaista kirjastolainaan havainnollistamaan yksikäsitteisen ymmärtämisen haasteellisuutta.

Käteeni tarttui kerran oikeuslääketieteen filosofian sanakirja, jonka uteliaisuuttani lainasin. Juuri sana ”normaali” sanakirjan sanoista ja selityksistä jäi aivan erityisesti mieleeni, sen toistakymmentä eri merkitystä fysiikan, matematiikan, lääketieteen ja yleiskielen aihepiireissä. Ilmaisun ”normaali terveydentila” eri ikäryhmien ihmisten kohdalla tarkoittaa toisiinsa nähden olennaisesti eri asioita. Ihmisten ikähaitarin viimeiselle vuosikymmen-iälle yli 90-vuotiaat kirja kertoi normaaliksi terveydentilaksi olla kuollut. Se siitä kirjasta ja itseni sivistämisen tarpeesta: palautin kirjan takaisin kirjastoon. Opin ymmärtämään monesta muustakin itsestään selvältä tuntuvasta sanasta, että määrittelyissä ja ilmaisuissa on millä tieteenalalla tahansa syytä olla tarkkana. On erityisesti pyrittävä välttämään turhia, ei-välttämättömiä lisämääritteitä. Kerran Hesarissa kerrottiin Suomenlahdelta löytyneen laittomia öljypäästöjä. Syötiin lounasta porukalla, kolle-

gani lohkaisi: ”Mitähän ne lailliset öljypäästöt ovat?”

Kirjoitan tätä pakinaa toukokuun puolivälissä. Vapun ajoista lähtien on yritetty ymmärtää, mitä hallituksen toimintalinjakseen valitsema hybridistrategia tarkoittaa, kuinka poliittinen oppositio tulkitsee sitä kovin toisin, miten terveysviranomaiset sitä selittävät. Pääministeri on päättäväisesti avannut ja selittänyt hallituksen kolmen kohdan linjaa, ettei koronaviruksen haluta leviävän, ettei Suomen terveydenhuoltojärjestelmää ylikuormiteta ja että riskiryhmiä suojellaan mahdollisimman tehokkaasti tartunnalta. Pyritään kulkemaan kultaista keskietä kahden ääripään, liiallisen ja puutteellisen välillä.

Insinöörilogiikalla ajatellen asiat pitäisi kyllä osata voida selittää ymmärrettävästi ja yksikäsitteisesti. On useita havainnollisia fysiikkaan ja luonnonlakeihin perustuvia malleja selittää hybridistrategiaa, jota kutsuisin suomeksi yhdistelmästrategiaksi. Kun rajoituksia lievennetään ja vähennetään, tartuntojen määrä todennäköisesti lähtee kasvuun. Kun samanaikaisesti lisätään voimakkaasti testauksien määrää ja toteutetaan tartunnan saaneelle altistuneiden jäljitystä, eristämistä ja hoitoa, tartuntojen määrä todennäköisesti lähtee pienenevänsä. Vastakkaisten vaikutusten yhdistelmätapauksessa tartuntojen summa on joko kasvava tai pienenevä: keskietä liu'uttaisiin milloin oikealle, milloin vasemmalle reunalle. Kun oma poika joskus 3-4-vuotiaana opetteli pyöräilemään ilman apupyöriä kesämyrskyssä kyläpolulla, meno oli kuin juopuneen hoipertelua tien laidasta toiseen, ojaan tai pusikkoon, mutta oikeana korjausliikkeenä lisää vauhtia,

kulku suoritui, ja jo parissakymmenessä minuutissa tasapainoinen pyöräily oli vakaata kuin pelimiehellä konsanaan. Piti hän sitä vanhemmilleen näyttää, merkityksensä silläkin oppimisprosessilla.

Jos sitten tartunnat saataisiin rajoitettua voimakkaasti lisäten nopeasti kokonaan pois tai vähitellen rajoituksia lieventäenkin, olkoonkin että selvästi hitaammin, ikään kuin huomaamatta, niin ”so what!” sanoi jo Paavo Lipponen. Sehän on se tarkoituskin, virustartunnat kokonaan pois. Ennen poikkeusoloja meillä oli monenlaisia maailmanlaajuisia turvallisuushkia. Ratkaisematta ne ovat vieläkin, eivät ole minnekään hävinneet; ilmastonmuutoksen hillitseminen, Lähi-idän sodat ja konfliktit, maahanmuutto- ja siirtolaiskysymykset, globaalit kauppakiistat, EU & Brexit -prosessi, ym. Kotimaassa hallitus vaihtui, työmarkkina-neuvotteluissa vain vaivoin edettiin ja prosessi on julkisilla aloilla edelleen pahasti kesken.

Kun nykyisen kaltaisissa poikkeusoloissa pohditaan ilmiötä tartuntojen estäminen ja viruksen leviämisen hallinta, estäminen tai kuriin saaminen, niin näen kyseessä olevan saman kaltaisen ilmiön kuin olivat vuodenvaihteen metsäpalot Australiassa, Brasiliassa ja Kaliforniassa ja kesällä 2018 mm. Ruotsissa. Pyrittiin tietysti palojen täydelliseen sammu- tukseen, ei kerralla vaan alue alueelta, monin eri keinoin. Metsäpaloissa palopesäkkeitä onnistutaan rajaamaan ja sammuttamaan, mutta niitä pullahtaa palamaan siellä täällä uudestaan, jolloin sammuttamista taas jatketaan. Suomen kielessä on tunnettu termi sohia umpimähkään, pohjalaista alkuperää. Kyseessä



on hiillos eli mähkä, joka aamulla on harmaan tuhkan peittämä eli umpimähkä, jonka alla hiillos vielä muhii. Metsäpalojenkin täydellinen sammuttaminen vie useita päiviä ja viikkoja, kunnes hiillos ei enää kyde eikä muhi.

Varsinkin Ruotsin metsäpalojen sammuttamisen yhteydessä auttamassa ollut suomalaista sammutusväkeä ja suomalaisia sammutuskäytäntöjä kiiteltiin. Myös olosuhteet Suomessa ovat suotuisat metsäpalojen tehokkaaseen sammuttamiseen: tiheä metsätieverkosto ja tehokas lentotähystysvalvonta. Paloalueelle päästään nopeasti ja vapaa-palokuntaverkosto on kattava. Suomalaisesta metsäpalojen estämisen ja sammuttamisen osaamisesta on syytä olla ylpeä ja kiitollinen, mutta kaikkea muuta kuin ylimielinen muita maita kohtaan. Hyppäys metsäpalojen sammuttamisen teemasta koronavirusten nujertamisen teemaan selittää ainakin itseni kaltaiselle kotikutoiselle turvallisuusfilosofille, että eri maiden strategiat koronapandemian nujertamiseksi ovat yksilöllisiä, toiset menestyksekkäämpiä, toiset vähemmän menestyksekkäitä. Eroja luonnollisesti on, mutta yhteistyö auttaa erojen tasaamisessa ja tuottaa win-win-periaatteella hyötyä yhteistyökumppaneille.

Yhteistyöstä insinöörielle tulee mieleen yhtyvien astioiden laki. Yhteistyö vähentää osaaamiseroja ja tasoittaa tietä kohti yhteistä hyvää globaalia lopputulosta. Osana sitä on maiden rajojen vähittäinen uudelleenavaus liikenteelle, sitten kun koronavirus on riittävästi tasaantunut saman kaltaiseksi naapurimaiden välillä. Sitä ennen rajojen avausta ei tulisi tehdä vaan antaa astioiden olla vielä omillaan, pitää venttiili kiinni. Maan sisälläkin rajoitukset toimivat yhtyvien astioiden lain tavoin vaikuttaessaan ihmisten väliin fyysisiin kohtaamisiin. Suomen oloissa fyysisten kohtaamisten määrää vähennetään luonnollisimmin, kesäkin kun tekee tuloaan, kehittämällä väkeä menemään maalle, mökeille ja metsään luonnon helmaan, sen sijaan että pakkauttaisiin hiekkarannoille kuten Välimeren maissa. Erityisen viisaalta kuulostaa ohje, jonka sanojaksi kerrotaan Helsingin yliopiston infektio-tautien emeritusprofessori Heikki Peltolaa: ”Ikäihmiset landelle, sillä lailla he voivat parhaiten ja heitä parhaiten myös suojellaan.” Sitä paitsi hehän ne mökitkin pääosin omistavat, kun mökinomistajien keski-ikä on 65 ikävuoden tienoilla. Empatiaa peliin. Sitä Alexander Stubbkin on kiitellyt ihmiskunnan olennaisen tärkeänä ominaisuutena tuoreimmassa esiintymisissään ja haastatteluisaan työnsä aloittavana EU-yliopiston johtajana ja professorina.

Äsken vietetty äitienpäivä sai ajatukset hetkeksi muualle kuin tiukkaan korona-asiaan. Emerituspiispa Eero Huovinen oli toisen emerituksen, papin ja päätoimittajan Tapani Ruokasen haastateltavana Alfa-TV:ssä. Huoviselta on äskettäin ilmestynyt kirja ”Äitiä ikävä”. Papin viisaudella ja elämäntekemällä Huovinen kiteytti haastattelussa, että äiti on aina mukana, tai äidin ikävä. Ajatusassosiaatio johdatti itseni ajattelemaan, että Huovinen puhuu nimenomaan tunteesta. Ja mikäpä sopisi ihmiselle paremmin tunteiden tulkiksi ja symboliksi kuin äiti? Oli sitten kysymys turvallisuuden tai turvatomuuden tunteesta, asiasta tai elämäntilanteesta riippuen. Koronapandemian äkillinen maailmanlaajuinen ilmaantuminen keskuuteemme on mietittänyt itseäni, mikä siinä ehkä on kaikkein erityisintä. Koronavirus on aivan uusi tuntematon virus, sitä ei tunneta,

se leviää nopeasti, se voi olla tappavan vaarallinen osalle väestöä eikä sitä osata vielä juuri hoitaa, kun lääkettä ja rokotetta ei vielä ole. On luonnollista, että ensisijaisesti pelko ohjaa ihmisten käyttäytymistä kaikkialla maailmassa näissä poikkeusoloissa. Pelko on tärkeimpiä ihmisen tunteista, elämää ylläpitävä ja suojeleva ”varovaisuussulake”.

Ehkä historian oikustakin tai ajan trendin mukaisesti Sanna Marinin hallitus sattuu olemaan vahvasti naisenemmistöinen hallitus. Ja kuin tämä ei sellaisenaan vielä riittäisi, niin keskeisissä tehtävissä koronaviruksen nujertamisen kimpussa on neljän puolueen puheenjohtajat ja pääministeri todennäköisenä tulevana puolueen puheenjohtajana hänkin, kaikki naisia. Joukosta käytetään yleisesti, he itsekin käyttävät, nimitystä Viisikko. Heidän lisäksi muutkin naisministerit ovat vahvasti mukana koronatalukoissa omilla vastuualoillaan. Tottahan myös miesministerit ovat talkoissa mukana, mutta naisten ja miesten kesken voimasuhteet ovat 12-7 naisten hyväksi. Kaiken lisäksi ministerien vaihtopenkillä odottaa kaksi naista, jotka tulevat aikanaan kehiin kahden väistyvän tilalle. Hakemattakin syntyy mielikuva ”äideistä asialla”, ei vain Atrian mainoksissa vaan maan asioiden hoitajina ja vastuunkantajina. Niinpä Viisikon lisäksi hallitukselle on keksitty monia muitakin kutsumanimiä kuten huulipunahallitus ja marimekkoministerit. Viisikkonimityksen yhteydessä on toisinaan palautettu mieleen kirjailija Enid Blytonin kirja Viisikko pulassa monen nostalgikon lapsuuden aikaisesta suosikkikirjasarjasta. Kansan suussahan näitä nimityksiä syntyy, kuka sitten kokee niitä hellittely- ja lempinimiksi, kuka ehkä pilkkanimiksi.

Kuinka vaan, sellainen on suomalaista demokratiaa ja sananvapautta parhaimmillaan. Ei siitä rangaista. Toisin on esimerkiksi Qatarissa, josta on uutisoitu, että uhkana on saada 50 000 €:n sakko, jos ei käytä ulkona suojainta. Sakoilla ja rangaistuksilla on saatettu uhata muuallakin, jopa Argentiinan syrjäseuduilla. Suomessa sakkoja on annettu vain vähän Uudenmaan pari viikkoa kestäneen eristysvaiheen erityistilanteissa. Suosituksilla, ohjeilla ja kehotuksilla on käytännössä voitu toimia. Hallituksen ja Ylen tiedotustilaisuuksien tutuksi tullut sympaattinen päätöslause on ollut: ”Kyllä me tästäkin yhdessä selviydymme.”

Turvallisuusfilosofi

Palautusosoite:

Suomen Atomiteknillinen Seura
PL 78
02151 ESPOO

Osoitteenmuutokset:

sihteeri@ats-fns.fi



KANNATUSJÄSENET

A-Insinöörit Civil Oy

**Pohjoismainen
Ydinvaruutuspooli**

TVO Nuclear Services Oy

Fennovoima Oy

Pohjolan Voima Oyj

Voimaosakeyhtiö SF Oy

FinNuclear ry

Posiva Oy

Westinghouse

**Fortum Power
and Heat Oy**

**Teknologian
tutkimuskeskus VTT Oy**

Platom Oy

Teollisuuden Voima Oyj