

ATS

YDINTEKNIikka

2|2021

Vol. 50

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

SAFIR ja KYT yhdistymässä SAFERiksi

Kansalliset tutkimusohjelmat KYT2022 ja SAFIR2022 pitivät yhteisen puoliväliseminaarin, mikä ennakoii ohjelmien yhdistymistä SAFER2028-tutkimusohjelmaksi vuonna 2023.

Rajoittaako betonin ikäntyminen käyttöikä?

Vanhojen ydinlaitosten käyttöön hallinta ja pidentäminen vaativat tietämystä betonirakenteiden ikääntymis- ja vaurioitumisilmiöistä.

Maanjäristykset aiheuttavat seismisiä riskejä

Suomessa esiintyy maanjäristyksiä harvoin, mikä vaikeuttaa niiden tilastollista tutkimista, mutta ydinlaitosten seisminen hasardianalyysi on silti tarpeen.



Julkaisija / Publisher

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

Johtokunta / Board

Puheenjohtaja / President

TkT Markus Airila
puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja / Vice President

DI Lauri Rintala
lauri.rintala@tvo.fi

Sihteeri / Secretary General

FM Jussi Peltonen
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

FM Maria Lindholm
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

Jäsenet / Board Members

SK Tuomo Huttunen
tuomo.huttunen@fennovoima.fi

MSc Ana Jambrina
ana.jambrina@lut.fi

DI Olli Nevander
olli.nevander@rosatom.fi

DI Simo Saarinen
simo.saarinen@iki.fi

Toimihenkilöt / Functionaries

ATS Young Generation

DI Pekka Pihlanko
pekka.pihlanko@platom.fi

Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

DI Henri Ormus
henri.ormus@fennovoima.fi

Women in Nuclear Finland

FT Eveliina Muuri
eveliina.muuri@posiva.fi

www.vastaava / Webmaster

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

ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkL Eero Patrakka
eero.patrakka@kolumbus.fi

Toimitus / Editors

Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

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

Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

TkT Henri Loukusa
henri.loukusa@gmail.com

Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

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

Ulkoasu ja taitto / Layout

Katariina Korhonen
Creatus
katariina@creatus.fi

Toimitus / Editorial Staff

FM Sophie Haapalehto
sophie.haapalehto@posiva.fi

DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@gmail.com

FT Antti Rätty
antti.ratty@vtt.fi

FT Mervi Söderlund
mervi.soderlund@fennovoima.fi

Toimituksen yhteystiedot

ATS Ydintekniikka

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

Painopaikka

Hämeen Kirjapaino Oy, Espoo

ISSN-0356-0473

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

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

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

Matematiikkaa vai kieliä?



KEVÄÄN YLIOPIPILASKIRJOITUSTEN tulokset julkistettiin toukokuun alkupuolella. Tämä avaa nykyään keskustelun yliopistojen valintakriteerien matematiikkapainotuksesta ja kuinka se on vahingollista nuorempien suomalaisten kielitaidolle. Käytännössä asiat eivät juuri koskaan ole mustavalkoisia, vaan useimmiten liikutaan hämyisästi harmaalla alueella. Asioilla on puolensa.

Todistusvalintaa ei viime vuosisadan lopulla ollut ollenkaan, vaan kaikki yliopistoihin hakijat osallistuivat valintakokeisiin. Kun hakijat on kuitenkin perusteellisesti rankattu ylioppilaskokeella, niin on ihan perusteltua säästää resursseja ja valita osa hakijoista yo-todistuksen perusteella. Tällä hetkellä alasta riippuen 50–70 % paikoista täytetään näin, joten nämä hakijat pääsevät välttämään valintakokeet.

Yliopistojen valintakriteerit todistusvalintaan sovitaan Suomen yliopistojen rehtorineuvostossa. Kriteereitä tarkastellaan ja mahdollisesti säädetään mutta mahdollisimman harvakseltaan. Joka tapauksessa edelleen on mahdollista päästä haluamalleen opintoalalle pääsykokeen kautta, mil-

lä voi korjata epäonnistuneen ylioppilaskokeen tai todistusvalinnan kannalta epäoptimaaliset – mutta ehkä kiinnostavammat ja jopa yleisivistävämät – lukion kurssivalinnat. Myös reitti avoimen yliopiston kautta on vahvistumassa.

Kielten merkitystä ei globalistuvassa maailmassa kiistä kukaan. Englanti on valta-asemassa, mutta myös muiden kielten osajille on kysyntää. Vanhan totuuden mukaan ostaa voi yleensä omalla kielellä, mutta jos haluaa myydä jotain, niin täytyy osata asiakkaan kieltä. Vaikka Google-kääntäjä onkin toimiva apuväline ainakin joidenkin kielten välillä, ja oiva tulkki esimerkiksi ulkomaisen ravintolan ruokalistaa tutkiessa, niin inhimillinen tyyliä siltä edelleen puuttuu.

Suomen Atomiteknillisen Seuran ja ATS Ydintekniikan kannalta kieliasia alkaa olla kuumeneva peruna. Ydintekniikan ala on pitkään pysynyt suomalaisena, mutta kylä viimeistään nyt on näköpiirissä kotimaan toimijoiden kansainvälistyminen. Muutos on käynnistynyt koulutus- ja tutkimusorganisaatioista, mutta kyllä yhtiöissäkin aletaan tarvita kolmatta kotimaista työkieleksi. Seuran on

syytä pohtia, mikä osa toiminnasta pidetään suomen- ja ruotsinkielisenä ja missä mitassa otetaan kansainvälisiä osajia mukaan toimintaan valitsemalla toimintakieleksi englanti.

Seuran lehdessä on perinteisesti ollut vahva suomenkielinen leima eikä se pikaisen selvityksen mukaan ole muuttunut viiden vuosikymmenen aikana. Suomenkielisiä juttuja näyttää olevan 85–90 % sisällöstä. Ruotsia, joka on edelleen seuran toinen virallinen kieli, esiintyy lehdessä satunnaisesti, kun taas englantia lähes joka numerossa ja keskimäärin 10–15 %. Tässä numerossa englannin osuus sattuu olemaan yli 40 %, mutta se ei ole mikään linjarveto saati trendi. Lehti julkaisee juttuja kaikilla kolmella kielellä tarjonnan määräämässä suhteessa.

Jarmo Ala-Heikkilä

Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Matematiikkaa vai kieliä?	3
Pääkirjoitus: Läpinäkyvää energiaa Suomesta	4
Editorial: Transparent energy from Finland	5
Pakina: Valehtelu on valtaa!	31

Arkiston helmi

Käytetyn polttoaineen loppusijoitukseen liittyvät kallioperätutkimukset vuosina 1983–85	12
---	----

Tapahtumat

Kansalliset tutkimusohjelmat uudistuvat	6
ATS:n vuosikokous 2021	8

Ajankohtaista

Ydinturvallisuussäännöstö uudistuu	10
--	----

Tiede ja tekniikka

Development of ceramic based wasteforms and hot isostatic pressing for the disposition of UK plutonium materials	15
<i>Stephanie M. Thornber, Neil C. Hyatt</i>	

Sensitivity of seismic hazard analysis in Finland: Overview of the SENSEI project	19
<i>Päivi Mäntyniemi, Marianne Malm, Simon Burck, Olli Okko, Pekka Välikangas, Ludovic Fülöp</i>	

Towards improved assessment of the safety performance of NPP concrete structures for LTO (ACES)	24
<i>Miguel Ferreira</i>	

Pro gradu: Radiumin pidättyminen kiven mineraaleihin ydinjätteen loppusijoitus kontekstissa	28
<i>Otto Tikkanen</i>	

Läpinäkyvää energiaa Suomesta

EUROOPASSA SÄÄDETÄÄN parhaillaan kriteereitä, joilla edistetään, rajoitetaan tai poistetaan energiateknologioita markkinoilta. Värein kuvataan elinvoimaisia vaihtoehtoja, ja etenkin vihreää energiaa tavoitellaan näkyvästi. Näyttää kuitenkin siltä, että ”green deal”-hengessä syntynyt luokittelusysteemi, niin sanottu taksonomia, johtaisi ydinvoiman elintilan kapenemiseen Euroopassa. Ydinvoiman vihertävyyttä ei ole kaikkialla hyväksytty. Olen kuitenkin optimisti ja inspiroitunut, sillä tulevaisuuteen voi aina vaikuttaa. Toimialamme kaipaa nyt jos koskaan rohkeaa luovuutta, lisää tietoa tieteen keinoin ja vaikuttamista eri tasoilla.

Ydinenergialla on selkeitä kasvunäkymiä, ja siksi myös VTT on valinnut ydinenergian näkyväksi osaksi omaa ”eksponentiaalisen toivon” strategiaa. Perinteisesti ydinenergia liitetään sähköntuotantoon, kun taas sen käyttö suorana lämmönlähteenä on harvinaisempaa. Samalla kun tarve puhtaalle lämmölle kasvaa eri teollisuuden aloilla, syntyy ydinenergialle uusia sovelluskohteita ja liiketoimintamahdollisuuksia lämpömarkkinoilla. Nämä tulee osata nähdä ja viestiä. Hiilidioksidipäästöjen radikaali leikkaus onnistuu vain, jos lämpöenergiaa tehdään päästöttömästi. VTT:n strategia keskittyykin tietoisesti ydinlämmön tuotantoteknologioihin.

Toimialamme kehittymistä on jarruttanut ydinvoimaprojektien hitaus. Meidän tulee kyetä uudistumaan ja toteuttamaan voimalaitoksia nopeammin. Lisäksi ydinvoiman tulee kyetä vastaamaan kilpailevien tuotantomuotojen kustannustasoon. SMR-reaktoreita tarjotaan ratkaisuksi. Pieni, yksinkertainen ja monistettava konepajatuote, joka on samalla entistä turvallisempia ja halvempi rakentaa ja käyttää. Uskon, että SMR lyö läpi, jos kaikki lupaukset kyetään osoittamaan todeksi ja tuotteelle löydetään oikea markkina. Noin 70 erilaista SMR-konseptia on jo suunnittelupöydällä mutta kaukolämmitykseen sovellettavia tuotteita ei juurikaan. VTT edistääkin parhaillaan suomalaista kaukolämmitykseen soveltuvaa pienreaktorikonseptia yhteistyössä LUT-yliopiston kanssa.

Tulevissa energiajärjestelmissä tarvitaan uusia systeemitasoisia ymmärrystä. Energiatalous

monipuolistuu siten, että tuotanto ja kulutus järjestyvät eri mekanismeilla, energian varastointiin ja siirtoon käytetään uusia väliaineita kuten vetyä, ja vaatimukset jakelureitteihin muuttuvat vastavasti. Ydinvoimalle avautuu systeemiarkkitehtuurissa kokonaan uusia käyttökohteita. Mutta ymmärryksen lisäämiseksi tarvitsemme tutkimusta. USA, Kiina ja Venäjä eturintamassa piirtelevät ydinvoimalle kehityspolkuja ja sijoittavat ydinvoiman tutkimus- ja kehitysinvestointeihin satoja miljoonia euroja. Korkeisiin, jopa 700–900 °C käyttölämpötiloihin yltäviä kaasujäähdytteisiä demolaitoksia on suunniteltu toteutettavan osaksi energiajärjestelmää jo tämän vuosikymmenen aikana.

VTT:n strategian mukaisesti haluamme olla mukana kehityksen kulussa ja selvitämme parhaillaan, mihin tuleviin korkeassa lämpötilassa toimiviin reaktoriteknologioihin meidän tulee kasvattaa osaamista.

Suomessa asuvat nuoret ovat uusimman mielipidemittauksen mukaan voimakkaasti kääntyneet ydinvoiman kannalle, ja yhteiskunnassa vallitsee muutenkin ydinvoimamyönteinen ilmapiiri. Alan kehittymiselle on meillä juuri nyt hyvät lähtökohdat. IAEA:n pääjohtaja kehui hiljattain Suomen kykyä tehdä polttoaineen loppusijoitusongelmasta ratkaisu. Ydinenergian elinkaarenhallinta ei ole vielä onnistunut yhdeltäkään muulta valtiolta. Ratkaisujen vähäisyys voi olla toimialan kehittymisen hidaste, mutta samalla meille suomalaisille mahdollisuus. Positiivisella viestinnällä voimme saada merkittävää vaikutusta hyväksyttävyyteen maailmanlaajuisesti.

Tällä vuosikymmenellä näemme ydinenergiaa syntyvän myös ITER-fuusioreaktorista. VTT on kotimaisen FinnFusion-ohjelman johtaja ja sitä kautta mukana ITER-hankkeessa. VTT käynnistää parhaillaan Suomeen ekosysteemiä, johon liittyy fuusiohankkeista ja niiden liiketoimintamahdollisuuksista kiinnostuneita yrityksiä. EU:n tiedeohjelmissa fuusioenergiaan inves-



toidaan fissionenergiaan nähden merkittävästi, mikä näkyy hyvänä rahoitustilanteena fuusioon liittyvissä tutkimusprojekteissa.

Palaan vielä vihreään energiaan. Voimavaroja ei kannata hukata siihen, että ydinvoima perustellaan vihreäksi. Sen sijaan ehdotan, että ydinenergiaa kutsutaan läpinäkyväksi, sillä sen päästöttömyys ja puhtaus ovat kiistattomia. Auringon lämpökin on läpinäkyvää fuusioenergiaa ja tuulienergian alkulähde. Läpinäkyvyys liittyy toimialamme myös laajemmin ja on rakennettu sisään eri maiden lainsäädäntöön. Läpinäkyvällä toiminnalla hallitsemme tehokkaasti onnettomuuksiin ja kaksikäyttöön liittyviä riskejä. Loppusijoitusratkaisun ja vakaan yhteiskunnan myötä etenkin Suomessa on tarjolla energiaratkaisu, jonka elinkaaren varrella ei ole lainkaan mustia aukkoja. Ydinenergia on läpinäkyvä luottamuslaji myös tulevaisuudessa.

Voimme hyötyä merkittävästi Suomen ai-
nutlaatusesta asemasta ydinenergiakentällä. Nyt on oikea aika tutkia, kehittää ja toteuttaa uudet ratkaisut maailmalle vietäviksi.

DI Tommi Nyman

Tutkimusalueen johtaja, Ydinenergia Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
tommi.nyman@vtt.fi

Transparent energy from Finland

C RITERIA ARE CURRENTLY BEING SET in Europe to promote, restrict or remove energy technologies from the market. Vibrant alternatives are described with colours, and green energy in particular is prominently sought. However, it seems that the classification system born in the spirit of “green deal”, the so-called taxonomy, would lead to a narrower living space for nuclear power in Europe. The green tone of nuclear power is not universally accepted. Still, I am optimistic and inspired because the future can always be influenced. Especially now our industry needs bold creativity, more knowledge through science and influencing at different levels.

Nuclear energy has clear growth prospects, which is why VTT has also chosen nuclear energy as a visible part of its own “exponential hope” strategy. Traditionally, nuclear energy is associated with electricity generation, while its use as a direct heat source is less common. As the need for clean heat grows in various industries, new applications and business opportunities for nuclear energy are emerging in the heat market. We should be able to see and communicate them. A radical cut in CO₂ emissions will only be successful if heat energy is produced emission-free. VTT’s strategy consciously focuses on nuclear heat production technologies.

The development of our industry has been hampered by the slowness of nuclear power projects. We need to be able to modernize ourselves and construct power plants faster. Additionally, nuclear power must be able to meet the cost level of competing production forms. SMR reactors are offered as a solution. A small, simple and replicable engineering product that is at the same time safer and cheaper to build and use. I believe that SMRs will break through if all promises can be proven and the right market is found. About 70 different SMR concepts are already in the design phase, but there are few products applicable to district heating. VTT is currently promoting a Finnish small reactor concept suitable for district heating in cooperation with LUT University.

Future energy systems will need a new system-level understanding. The energy economy will be diversified by organizing production and consumption through different mechanisms, using new media such as hydrogen for energy storage and transmission, and changing the requirements for distribution routes accordingly. Completely new applications open up to nuclear power in system architecture. But to increase understanding, we need research. The USA, China and Russia are at the forefront of drawing development paths for nuclear power and investing hundreds of millions euros in nuclear power research and development. Gas-cooled demo plants with operating temperatures as high as 700–900 °C are planned to be integrated into the energy system already during this decade. In line with VTT’s strategy, we want to be involved in the development process and we are currently investigating which future high-temperature reactor technologies we need to increase our expertise in.

According to the latest opinion poll, young people living in Finland strongly support nuclear power, and there is a pro-nuclear atmosphere in our society at large. We have a good starting point for the development of the industry right now. The Director General of the IAEA recently praised Finland’s ability to solve the disposal of spent nuclear fuel. No other country has so far succeeded in the life cycle management of nuclear energy. The lack of solutions can be a hindrance against the industry development, but at the same time an opportunity for us Finns. With positive communication, we can have a significant impact on global acceptance.

In this decade, we will also see nuclear energy generated in the ITER fusion reactor. VTT is leading the national FinnFusion program and thus involved in the ITER project. VTT is currently launching an ecosystem in Finland, which would involve companies interested in fusion projects and their business opportunities. EU science programs invest significantly more in fusion energy than in fission, which is reflected in the good financial situation of fusion-related research projects.

I return to green energy. Resources should not be wasted on justifying nuclear power as green. Instead, I propose that nuclear energy be called transparent, because its zero emissions and purity are indisputable. The heat of the sun is also transparent fusion energy and the source of wind energy. Transparency is also more broadly related to our industry and is built into the legislation of different countries. Through transparent operations, we effectively manage the risks associated with accidents and dual use. Thanks to the final disposal solution and a stable society, an energy solution is available in Finland with no black holes whatsoever during its life cycle. Nuclear energy will continue to be a transparent domain of trust in the future.

We can benefit significantly from Finland’s unique position in the nuclear field. Now is the right time to research, develop and implement new solutions for world-wide export.

MSc Tommi Nyman

Vice President, Nuclear Energy
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd
tommi.nyman@vtt.fi

Kansalliset tutkimusohjelmat uudistuvat

Maaliskuun puolessa välissä järjestettiin SAFIR2022 (Kansallinen ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimus 2019–2022) ja KYT2022 (Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma 2019–2022) -tutkimusohjelmien ensimmäinen yhteinen puoliväliseminaari. Tutkimusohjelmat yhdistyvät seuraavalle ohjelmakaudelle ja samalla kansallinen ydinenergia- ja ydinjätetutkimus hakee uutta suuntaa. Miten Valtion ydinjätehuoltorahaston (VYR) rahoittama tutkimus edistää ydinturvallisuutta Suomessa ja mihin suuntaan tutkimusta halutaan kehittää? Miten seminaari onnistui?

Teksti ja kuvat: Suvi Karvonen, Jari Hämäläinen

SAFIR2022-KYT2022-PUOLIVÄLISEMINAARIN suunnittelu aloitettiin vuoden 2019 lopulla. Tällöin molempien ohjelmien johtoryhmissä pidettiin hyvänä ajatuksena, että ohjelmat pitäisivät yhteisen tilaisuuden, jossa voimalaitosten turvallisuustutkimuksen ja ydinjätehuollon tutkimuksen tutkijayhteisöt pääsisivät tutustumaan toisiinsa ja voitaisiin löytää uutta synergiaa. Taustalla oli suunnitelma vuonna 2023 aloittavasta uudesta yhteisestä kuusivuotisesta tutkimusohjelmasta SAFER2028 (Safety and Waste Management Research 2023–2028).

Tarkoituksena oli järjestää kahden päivän yhteinen seminaari Otaniemen Dipolissa ja luoda

tilaisuudessa edellytykset verkottumiselle. Covid-19-pandemia kuitenkin muutti suunnitelmat ja seminaari järjestettiin verkkokokouksena. Tilaisuudessa haluttiin myös antaa mahdollisuus vaikuttaa uuden tutkimusohjelman suunnitteluun: osallistujilta pyydettiin kunkin aihealueen istunnoissa ajatuksia siitä, millaista tutkimusta aihepiirissä tulisi jatkossa tehdä.

Kansainvälinen puoliväliseminaari

Pandemiatilanteen myötä menetettiin mahdollisuudet posterisessioon, vapaaseen keskusteluun ja ihmisiin kasvokkain tutustumiseen, mutta myös saavutettiin jotain. Puoliväliseminaariin

osallistui ennätysmäärä alan asiantuntijoita, lähes 450 henkeä, ja suuri osa osallistujista oli ulkomailta. Myös esiintyjiksi saatiin kiinnostavia ja arvovaltaisia kansainvälisiä vieraita, kun Euroopan komission Massimo Garribba avasi Euratomin tutkimusohjelmien tulevaisuutta ja japanilaiset Miyuki Akiba ja Akitoshi Hotta kertoivat Fukushima jälkeisen ajan turvallisuustutkimuksesta Japanissa. Toisena päivänä huomio oli yhteispohjoismaisessa yhteistyössä, kun Energiforskin Monika Adsten ja SKB:n Allan Hedin pitivät esityksensä.

Myös seminaarin yleisö oli kansainvälistä. Osallistujia oli eri puolilta Eurooppaa, mutta myös kauempaa, sillä seminaarikutsua oli välitetty innokkaasti eteenpäin, ja ulkomaiset osallistujat myös osallistuivat keskusteluun.

Puoliväliseminaaria seurattaessa ja tutkijoiden kertoessa tutkimuksestaan oli helppo tuntee olonsa ylläpäiksi niistä tuloksista, mitä kahden vuoden aikana on jo saavutettu, vaikka lähes kaikki hankkeet ovat vielä kesken. Ohjelmissa on tähän mennessä julkaistu lähes 550 julkaisua ja raporttia, mukaan lukien 77 tieteellistä lehtiartikkelia ja noin 150 konferenssiartikkelia. Lisäksi ohjelmissa on valmistunut 14 uutta tohtoria alalle. Julkaisut, raportit ja SAFIR2022:n puoliväliraportti sekä KYT2022:n vuosiraportit löytyvät ohjelmien kotisivuilta (<http://safir2022.vtt.fi/> ja <http://kyt2022.vtt.fi/>), ja niitä kannattaa ehdottomasti käydä lukemassa, vaikka olisi ollut mukana seminaarissakin.

Yhdistävät tekijät

Puoliväliseminaarin ohjelma haluttiin toteuttaa niin, että jokainen hanke pääsi esittäytymään. Koska hankkeita oli yli 50, tämä tarkoitti rinnakkaisia sessioita, ja puoliväliseminaarissa jakauduttiinkin parhaimmillaan kolmeen rinnakkaiseen ryhmään kuulemaan esityksiä eri aihepiireistä. Osa oli selkeästi yhteen tutkimusohjelmaan kuuluvia, kuten esimerkiksi termohydrauliikka SAFIRin puolella tai kallioperätutkimus KYTin puolella, mutta yhteisiäkin aiheita löytyi.

Kokonaisturvallisuus, sosiaalinen toimilupa, polttoainetutkimus ja tutkimuksen infrastruktuuri ovat esimerkkejä ohjelmia yhdistävistä aihepiireistä, joiden osalta haluttiin ihmisten tutustuvan toisiinsa siinä määrin kuin se etäyhteyden yli onnistuu. Seminaarin ohjelma oli toteutettu niin, että kuulijan oli mahdollista vaihtaa istunnosta toiseen sen kulessakin, ja istuntojen puheenjohtajat pitivät parhaansa mukaan aikatauluista kiinni, jotta tämä onnistui myös käytännössä.

Yhteysongelmien ja muiden teknisten häiriöiden minimoimiseksi esitykset tallennettiin etukäteen, ja lähes kaikki niistä ovat seminaari-



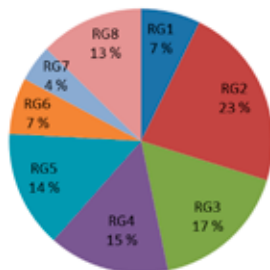
TkT Suvi Karvonen
KYT2022-ohjelman johtaja
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
suvi.karvonen@vtt.fi



TkT Jari Hämäläinen
SAFIR2022-ohjelman johtaja
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
jari.hamalainen@vtt.fi

SAFIR2022 Tukiryhmät

RG1	Overall safety and organisation
RG2	Plant level analysis
RG3	Reactor and fuel
RG4	Thermal hydraulics
RG5	Mechanical integrity
RG6	Structures and materials
RG7	Severe accidents
RG8	Research infrastructure

Henkilötyövuodet 2020 (yht. 43 htv)**SAFIR2022-ohjelman aihepiirit ja niiden laajuudet vuonna 2020.**

rin jälkeen saatavilla ohjelmien kotisivuilla – kannattaa käydä tutustumassa! Seminaarin lähteyksen, tallennuksen ja videoiden editoinnin hoiti ulkoinen palveluntuottaja, jotta tulos olisi mahdollisimman laadukas ja ammattimainen. Laatu olikin pääosin hyvä ja saimme paljon kiittävästä palautteesta. Pari virhettä oli tallenteisiin kuitenkin jäänyt ja jatkoa ajatellen opimme, että ennakkotallenteiden tekoon ja tarkistamiseen tulee varata enemmän aikaa ja resursseja.

Kaiken kaikkiaan puoliväliseminaari oli kirjoittajien mielipiteen mukaan menestys, vaikka keskustelu etäyhteyden yli oli vielä useimmille uutta. Erityisesti etäyhteys mahdollisti sen, ettei osallistujamäärää tarvinnut rajata tilojen kapasiteetin mukaan. Päätös yhdistää ohjelmien seminaarit oli onnistunut ja nykyisten ohjelmien loppuseminaari tullaan toivottavasti pitämään myös yhteisenä vuoden 2023 maaliskuussa.

Ehkäpä siihen mennessä pandemiatilanne on rauhoittunut ja pääsemme tapaamaan toisiamme, mutta mahdollisuus osallistua etänä ja esitysten tallennus ovat varmasti jatkamisen arvoisia käytäntöjä. Tapahtuman jälkeen kerätyssä palautteessa onkin erityisesti kiitety webinaarin hyviä puolia, kuten kotoa osallistumista ilman matkustusta, ehdotettu eri-

laisia luovia hybridiratkaisuja jatkoa ajatellen sekä esimerkiksi sitä, että jatkossa joka toinen seminaari järjestettäisiin etänä ja joka toinen paikan päällä.

Tulevaisuutta rakentamassa

Samaan aikaan kun nykyiset ohjelmat ovat käynnissä vielä tämän ja ensi vuoden, uuden SAFER2028-tutkimusohjelman suunnittelu on jo alkanut työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) nimittämän suunnitteluryhmän voimin. Suunnitteluryhmän tehtävänä on Ydinenergia-alan tutkimusstrategiassa (YES) esiteltyjen skenaarioiden päivittäminen sekä uuden ohjelman määrittävän runkosuunnitelman laatiminen. Suunnitelman luonnoksen arvioivat TEM:n valitsemat ulkomaiset ja kotimaiset asiantuntijat alkuvuodesta 2022 ja suunnitelman tulisi olla valmis kesällä 2022. SAFER2028-ohjelman ensimmäinen haku aukeaa näillä näkymin elokuussa 2022.

Vaikka SAFER2028:n suunnittelu on vielä alkumetreillä, tavoitteet ja muutama muutos nykyiseen on jo tiedossa. Ensinnäkin nykytilanteessa, jossa tutkimus on jaoteltu KYTin ja SAFIRin kesken, on tunnistettu väliin puotavia alueita, joiden on vaikea saada rahoit-

tusta – esimerkiksi käytöstäpoiston aihepiiri. Polttoaineeseen liittyvää tutkimusta ei myöskään kannattane jakaa nykyisten tutkimusohjelmien mukaan. Parhaimmillaan yhdistyessään ohjelmat voisivat siis olla enemmän kuin osiensa summa.

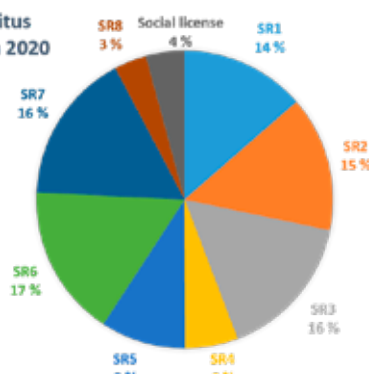
Muita SAFER2028-ohjelmalle asetettuja tavoitteita ovat jatko-opintojen aiempaa suurempi tukeminen esimerkiksi tohtoriohjelman kautta, ja hallinnon tehostuminen yhdessä suuremmissa kokonaisuuksissa kahden erillisen sijaan. Uuden tutkimusohjelman kausi tulee nykyisen neljän vuoden sijaan olemaan kuusi vuotta, ja jokasyksyistä hakemus- ja arviointiruhkaa halutaan keventää siten, ettei jokaisen hankkeen tarvitsisi hakea rahoitusta vuosittain. Uudessa ohjelmassa voitaisiin ehkä laajentaa jo nykyisissäkin ohjelmissa olevaa Excellence-hankkeiden käytäntöä tai kehittää jokin uusi menettely. Tutkimusinfrastruktuuria tarvitaan sekä ydinturvallisuuden että ydinjätehuollon tutkimuksessa, ja sen kehittäminen on edelleen tärkeää uudessa tutkimusohjelmassa.

Vaikein osa uuden ohjelman suunnittelua on kuitenkin alan tulevaisuuden ennakointi. Miltä näyttää maailma vuonna 2028? Etenevätkö suunnitelmat saattaa SMR-reaktorit osaksi kansallista energiaratkaisua ja aloittaako Posivan loppusijoituslaitos toimintansa? Millaisia tutkimustarpeita näihin ja muihin aiheisiin jatkossa liittyy? Entä muut yhteiskunnassa tapahtuvat kehitysaskleet, jotka vaikuttavat myös meihin – vetytalous, digitaalisuus, tekoäly ja mitä uusia aiheita nousee ajankohtaisiksi?

Vaikka ohjelma suunnitellaan kuudeksi vuodeksi yleisellä tasolla, on tärkeää, että ohjelman aikana voidaan reagoida uusiin asioihin sekä toimintaympäristössä että tutkimuksessa tarpeen mukaan ja nopeasti. Toisaalta samaan aikaan kun huomioimme uutta, on myös tärkeää tunnistaa, missä aiheissa tarvitaan pitkäjänteistä tutkimusta ja mitä ovat ne kriittiset osaamiset, joita kansallisella tasolla täytyy edelleen ylläpitää. Näiden kysymysten pohdintaan on suunnitteluryhmässä tarkoitus pureutua ja tuloksia voimella odottaa suurella mielenkiinnolla. 🌐

KYT2022 Seurantaryhmät

SR1	Puskuri/kallio -rajapinta
SR2	Kanisteri
SR3	Vapautumisesteiden vuorovaikutukset ja mikrobiologia
SR4	Turvallisuuden perustekijät
SR5	Kallioperätutkimukset
SR6	Muu turvallisuustutkimus
SR7	Matalan ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitus
SR8	Vaihtoehtoiset teknologia
+ Yhteiskunnallinen tutkimus	

KYT2022 rahoitus aihepiireittäin 2020 (2 M€)

KYT2022-ohjelman aihepiirit vuonna 2020. Perinteisten moniestejärjestelmän toimintakykyyn liittyvien aihepiirien lisäksi muu matalan ja keskiaktiivisen jätteen tutkimuksen aihepiiristä.

ATS:n vuosikokous 2021

Suomen Atomiteknillisen Seuran vuosikokous järjestettiin Zoom- etäyhteydellä maaliskuun 17. päivänä koronavirusepidemian rajoittaessa yhä normaalia toimintaa. Kokoontumisrajoitusten myötä moni tapahtuma joko siirrettiin tai peruttiin kokonaan, mutta marraskuussa etäyhteydellä järjestetty Syysseminaari onnistui rajoituksista huolimatta keräämään etänä 162 osallistujaa. Myös ATS Ydintekniikan julkaiseminen jatkui häiriöttä ja tarjosi jäsenistölle tärkeän väylän ydinalojen ajankoh- taisten asioiden seuraamiseen.


Teksti: Jussi Peltonen

VUOSIKOKOUKSEN sääntömääräisinä asioina käsiteltiin seuran toimintaker- tomus ja tilinpäätös vuodelta 2020 sekä toimintasuunnitelma ja talousarvio vuodelle 2021. Tapahtumien vähentymisen myötä kertynyttä säästöä kompensoidaan vuoden 2021 tapahtumajärjestelyillä ja yhteisellä tuella koko jäsenistölle, eli jäsenmaksujen vä- liaikaisella alentamisella. Seuraavan kerran syksyllä 2022 järjestettävään Suomalaisen Ydintekniikan Päivät (SYP2022) -konferenssiin valmistautumista jatkettiin vuosittaisella varauksella.

Johtokunnan kokoonpano vaihtui puheen- johtaja Tuomas Rantalan (TVO), varapuheen- johtaja Jaakko Leppäsen (VTT), rahastonhoi- taja Pekka Kupiaisen (Posiva) ja jäsenen Vesa Tanskasen (Stressfield) sääntömääräisten toi- mikausien päättyessä. Uudeksi puheenjoh- tajaksi valittiin Markus Airila (VTT), uudeksi sihteeriksi Jussi Peltonen (VTT) ja uusiksi jä- seniksi Tuomo Huttunen (Fennovoima) ja Olli Nevander (Rosatom). Vanhoina jäseninä joh- tokunnassa jatkavat edelleen varapuheenjo- h- t- ajaksi valittu Lauri Rintala (TVO), rahaston- hoitajana aloittava Maria Lindholm (Fortum), sekä jäseninä Ana Jambrina (LUT) ja Simo Saarinen (Patria).

Vuosikokous päätti kutsua kunniajäsenik- si erittäin pitkäaikaisen ja alalla ansiokkaan

ja yhdistyksessä sen hyväksi tehdyn työn pe- rusteella Eero Patrakan, Ilkka Mikkolan ja Jukka Laaksosen. Uusia kunniajäseniä juh- litaan käytännössä seuran 55-vuotisjuhlissa syksyllä 2021. Erkki Laurila -palkinnon ATS Ydintekniikka -lehden menneen vuoden par- haasta artikkelista saivat Helsingin Yliopiston Samuli Siltanen ja STUKin Riina Virta artikke- listaan ”Gammaemissiotomografia paljastaa ydinpolttoaineen sisällön”, joka julkaistiin ATS Ydintekniikan numerossa 4/2020. Artikkel- i kuvailee ongelman ja sen ratkaisun etenemisen selkeästi, ja osoittaa kuinka suomen kielellä on mahdollista kertoa myös monialaisesta ja monimutkaisesta aiheesta. Myös artikkelin runsas kuvitus tarjoaa aiheeseen vähemmän perehtyneelle lukijalle valistavaa sisältöä.

Samuli Siltanen oli etäkokouksessa läsnä ottamaan vastaan Erkki Laurila -palkinnon ja piti informatiivisen puheen gammatomogra- fian historiasta. Vuosikokouksen jälkeen Iiro Auterinen (VTT) piti esitelmän historiallisista Boron Neutron Capture Treatment (BNCT) -hoidoista FiR 1:llä sekä tutkimusreaktorin ny- kyisestä purkutilanteesta. Esitelmää seurasi lukuisia yleisökysymyksiä ja keskustelua aivo- syöprien hoidoista ja niiden yhteiskunnallisesta vastaanotosta sekä vuodenvaihteesta 2020– 21 toteutuneesta reaktorin käytetyn ydinpol- toaineen kuljetuksesta Yhdysvaltoihin. 



FM Jussi Peltonen

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

Markus Airila

”Fysiikasta ja energia-asioista jo lukioaikana Keravalla innostuneena hain opiskelemaan teknillistä fysiikkaa Teknilliseen korkeakouluun vuonna 1994 ja valmistuin sieltä DI:ksi vuoden 2000 lopussa. Ammatillinen mielenkiintoni suuntautui erityisesti fuusioon, johon liittyvän väitöskirjatyöni aloitin heti perustutkinnon jälkeen ja väittelin tekniikan tohtoriksi vuonna 2004. Tulevaisuuden energiaratkaisun kehittäminen TKK:n ja vuodesta 2008 VTT:n leivissä on ollut hieno mahdollisuus tehdä kansainvälistä yhteistyötä.

ATS YG:n yhteyshenkilönä TKK:lla toimiminen auttoi luomaan myös yhteyksiä alan nuoriin ammattilaisiin kotimaassa. Tällä hetkellä työpäiväni täyttää FiR 1:n käytöstäpoistoprojekti, johon lähdin projektipäälliköksi vuonna 2015. Tänä vuonna 50 vuotta täyttävän ATS Ydintekniikan kolahtaminen postiläättikkoon on aina ollut minulle innostuksen hetki, ja olen itsekin silloin tällöin kirjoittanut seuran lehteen itselleni ajankohtaisista aiheista. Ensimmäinen kerta taisi olla numeron 1/2005 pääkirjoitus, jossa odottelin ITER-fuusioreaktorin sijoituspaikapäätöstä.”



Olli Nevander

”Täysikäisyyden saavutettuani nousin junaan Savonlinnassa ja matkasin Lappeenrantaan. Urheillen, olutta juoden ja säteilyvalvojana työskennellen opin- toja rahoittaen saavutin diplomi-insinöörin tutkinnon vuonna 1983. Armeijan harmaat riisuttuani kävelin vuonna 1985 Säteilyturvakeskukseen, jossa vierähti viitisen vuotta vaihtelevissa tehtävissä ja vuonna 1991 läksin IVOn (nykyään Fortum) leipiin rakentamaan silloista Loviisa 3 -hanketta.

Vuonna 2003 lähdin työskentelemään Olkiluoto 3:n ja vanhempien Olkiluodon yksiköiden parissa, kunnes vuonna 2008 hyppäsin taas Fortumille tekemään Loviisa 3 -hanketta kaukolämpöputkineen, mutta politiikka puuttui peliin, lupaa ei saatu ja muut projektit kutsuivat. Sitten kaukokaipuu iski ja yli viiden vuoden ajan Pariisi ja OECD NEA tulivat tutuiksi työn merkeissä. Nykyisin olen tuomassa uutta ydinvoimaa Suomeen Hanhikivi-projektissa.

ATS-toimintani alkoi vuonna 1993 ATS Ydintekniikka -lehden toimitussihteerinä ja jatkui sitten johtokunnan jäsenenä, lehden päätoimittajan, ATS:n Sanasto 2000 -työryhmän vetäjän sekä kansainvälisten asioiden sihteerin tehtävien parissa. Palasin näihin tehtäviin pienen tauon jälkeen vuonna 2005, ja osallistuin myöhemmin myös ATS:n Sanasto 2013:n sekä ATS:n historiikin kirjoitustalkoisiin.”



Tuomo Huttunen

”Olen Tuomo Huttunen, koulutukseltani sotatieteiden kandidaatti ja minulla on opintoja myös Kauppakorkeassa ja Teknillisessä korkeakoulussa (Energiatekniikka). Tulin alalle alun perin 1990-luvun alussa Ydinenergianuoret-yhdistyksen kautta. Nykyisin toimin Fennovoimassa yhteyskuntasuhteiden parissa, ja aiemmin olen toiminut myös Energiateollisuus ry:ssä sähköntuotannon asiantuntijana Brysselistä käsin vuonna 2017. Olen toiminut ATS YG:n puheenjohtajana vuonna 2018, ja tuolloisen kauden kohokoh-tana oli opintomatkan järjestäminen Tsernobyliin.”



Jussi Peltonen

”Saavuvin vuonna 2014 lukioista valmistuttuani opiskelemaan Helsingin yliopiston fysiikan laitokselle tavoitteenani ymmärtää universumia paremmin, ja asteittain teoreettisen fysiikan opintoni vaihtuivat laskennalliseen fysiikkaan ja siitä vuoden 2018 kesä-pestin myötä reaktorianalyysiin VTT:llä. Vuonna 2019 viimeisteltyäni filosofian maisterin tutkintoni lähdin tekemään väitöskirjaani modernista ydinpolttainemallin- nuksesta VTT:n tutkijana ja Aalto-yliopiston osa-aikaisena väitöskirjaopiskelijana. ATS YG:n jäsenenä ehdin toimia parin kuu- kauden ajan tämän vuoden alussa, kunnes minulle tarjottiin sihteerin tehtävää ATS:n johtokunnassa.”



Ydinturvallisuus-säännöstö uudistuu

Säteilyturvakeskus tekee perusteellisen uudistuksen ydinlaitoksia koskevaan säännöstöön. Jatkossa YVL-ohjeet ovat nimensä mukaisesti ohjeita, ja sitovat vaatimukset esitetään STUKin määräyksissä, asetuksessa tai laissa. Uudessa säännöstössä vaatimukset ovat tavoitteellisia, mahdollisimman pitkälle teknologianeutraaleja ja antavat liikkumavaraa valita erilaisia ratkaisuja tavoitteeseen pääsemiseksi. Uudistettu säännöstö mahdollistaa pienreaktoreiden (SMR – Small Modular Reactor) luvittamisen nykyistä paremmin.

Teksti: Minna Tuomainen

YLLÄ KUVATTUUN TULEVAISUUTEEN on vielä matkaa, mutta sinne pääsemiseksi Säteilyturvakeskus päätti viime syksynä uudistaa ydinlaitoksia koskevat määräykset ja YVL-ohjeet. Tämä vuosi kuuluu uudistuksen suunnittelussa ja valmistelussa, ja varsinainen säännöstötyö alkaa vuodenvaihteen tienoilla. Uudistus tulee viemään useita vuosia. Aikataulu riippuu myös työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) kaavailemasta mahdollisesta ydinenergiain ja -asetuksen uudistuksesta.

Uudistukselle on monia syitä

STUK on uudistanut YVL-ohjeita viime aikoina tiuhaan: viimeisin laaja uudistus saatiin valmiiksi 2013 ja pienempiä päivityksiä on tehty sen jälkeenkin. Myös määräyksiä on jo päivitetty niiden julkistamisen jälkeen. Joku voikin hyvällä syyllä kysyä, että miksi taas lähdetään uudistukseen, kun tuoreimpien YVL-ohjeiden täytäntöönpano on vielä kesken.

Uudistukselle on useita syitä. Tärkeimmät syyt ovat: saada säännöstö tukemaan STUKin muutama vuosi sitten laadittua strategiaa, pienreaktorien huomioiminen säännöstössä, mahdollinen ydinenergiain ja -asetuksen tuleva uudistus sekä tarve saada säännöstö vastaamaan perustuslain vaatimuksia ja hyvää lainkirjoitustapaa.

STUK julkaisi uuden strategiansa 2018. Strategiassa korostetaan luvanhaltijoiden vastuuta ja valvonnan kohdistamista riskitehtoisesti. Koska säännöstö on perusta sille mitä STUK tekee ja mitä se luvanhaltijoilta odottaa, todellista muutosta on vaikea saada aikaiseksi muuttamatta säännöstöä.

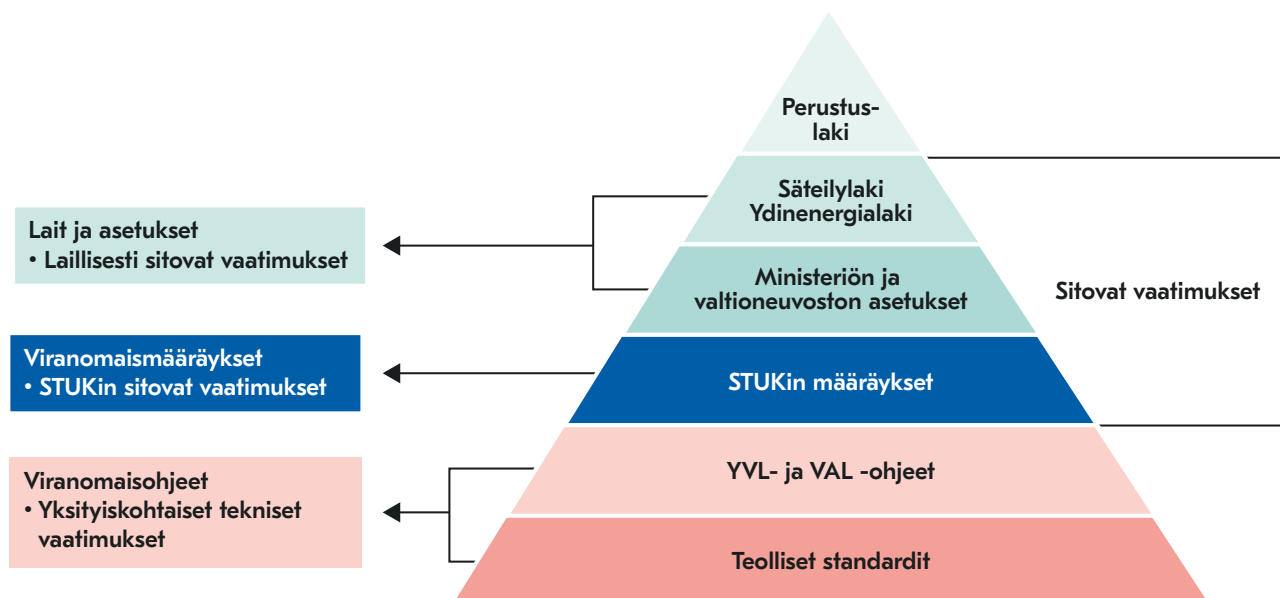
TEM kartoitti 2019–2020 tarpeita ydinenergiain uudistukseen. Asiaa pohtineen työryhmän johtopäätös oli, että kokonaisuudistus on tarpeellinen, koska toimintaympäristö on muuttunut paljon sen jälkeen, kun laki tuli voimaan 1988. Lainsäädännön ja sen alaisen ydinturvallisuussäännöstön muutokset on järkevää tehdä koordinoitusti ja samaan aikaan.

Uudistunut säännöstö antaa luvanhaltijoille enemmän vapautta ja vastuuta

Uudistus ei ole puhtaasti rakenteellinen tai sisällöllinen, vaan ennemmin voisi puhua lähestymistapamuutoksesta. Vaadittuun turvallisuustasoon ei ole tulossa muutoksia eikä säännöstöön olla lisäämässä uusia vaatimuksia. Merkittävin muutos on, että vaatimuksista karsitaan yksityiskohtaisuutta nykyiseen nähden; jatkossa vaatimukset asettavat tavoitteen, eivätkä esitä yksityiskohtia siitä, millä keinolla tavoite pitää saavuttaa.



DI Minna Tuomainen
Johtava asiantuntija
Säteilyturvakeskus
minna.tuomainen@stuk.fi



Nykyinen säännösrakenne. Jatkossa YVL-ohjeet eivät esitä vaatimuksia.

Tavoitteellisuus antaa valvottaville enemmän vastuuta ratkaisusta ja samalla liikkumavaraa ja mahdollisuuden harkita erilaisia vaihtoehtoja. Muutoksen myötä STUKin valvontaa voidaan kohdentaa nykyistä joustavammin.

Toinen iso muutos on, että YVL-ohjeet eivät enää jatkossa ole velvoittavia. Velvoittavat vaatimukset esitetään jatkossa laissa, asetuksissa tai määräyksissä. Keskustelu YVL-ohjeiden tulevasta roolista ja sisällöstä on vielä kesken, mutta joka tapauksessa ohjeet tulevat olemaan nimensä mukaisesti ohjeita, eivät vaatimuskirjoituksia.

Kysymyksiä ja huolenaiheita

Isoon uudistukseen liittyy aina myös pieleen menemisen riski. Keskustelua on herättänyt etenkin tulkinnanvaraisuus: tavoitteelliset vaatimukset antavat enemmän liikkumatilaa, mutta jättävät vastaavasti enemmän tilaa tulkinnoille. Miten varmistetaan valvonnan enakoitavuus, objektiivisuus ja tasapuolisuus?

Toinen esiin noussut huolenaihe on vaatimusten nostaminen säännöshierarkiassa ylöspäin. YVL-ohjeesta on voinut perustellusti poiketa, mutta entä kun vaatimus on määräyksessä tai laissa? Kolmas usein esitetty näkökohta on, että nykyisäännöstyössä on myös paljon hyvää ja toimivaa, ja YVL-ohjeisiin on

koottu paljon tietoa ja kokemusta. Emmehän hävitä jotain säilyttämisen arvoista?

Näihin ja moniin muihin kysymyksiin yritetään löytää vastauksia nyt käynnissä olevassa valmisteluvaiheessa. Oppia otetaan jo toteutetuista uudistuksista. Esimerkiksi tuoreesta säteilylain ja sen alaisen säännösten uudistamisesta kerätään hyviä ja huonoja kokemuksia; sekä itse uudistuksen tekemisestä että käyttökokemuksista lain oltua nyt käytössä muutamana vuotena.

Oppeja on saatavissa myös esimerkiksi rakentamismääräyskokoelman uudistuksesta ja Ruotsin ydinturvallisuussäännösten uudistuksesta. Pienreaktoreiden luvituksessa esimerkiksi Kanada on ollut aktiivinen, ja sieltä voidaan löytää apua erilaisten teknologioiden ja uusien toimintamallien huomioimiseen.

Tavoitteellisten, teknologianeutraalien ja juridisesti oikeanmuotoisten vaatimusten kirjoittamista harjoitellaan erilaisten pilottien avulla STUKissa tämän vuoden aikana. Syksymmällä työhön otetaan mukaan säännösten käyttäjät.

Uusi säännöstö soveltuu myös pienreaktoreille

Viime vuosina kiinnostus pienreaktoreita kohtaan on kasvanut sekä maailmalla että Suomessa. Ydinlaitoksia koskeva säännöstö

on luotu ajatellen – ainakin alitajuisesti – isoja, kevytvesiteknologiaa käyttäviä, sähköntuotantoon tarkoitettuja reaktoreita, jotka on sijoitettu kauas asutuksesta. Pienreaktorit eivät välttämättä ole mitään edellä mainituista. Nykyinen säännöstö ei siten kaikilta osin sovellu pienreaktoreille.

Esimerkiksi vaatimus viiden kilometrin suojavyöhykkeestä laitoksen ympärillä on hankala kaukolämmöntuotantoon tarkoitettulle pienreaktorille. Pienempi suojavyöhyke voi hyvinkin olla perusteltavissa turvallisuuden kannalta ja pohdinnassa onkin sisällyttää säännöstöön mahdollisuus määrittää suojavyöhyke tapauskohtaisesti.

Pienreaktoreita on maailmalla kuitenkin kehitteillä laaja kirjo. Siksi on vaarallista tehdä pienreaktoreita koskevia yleistyksiä tai laatia pienreaktoreille omaa säännöstöä. Säännöstöuudistuksessa pienreaktorit huomioidaan kirjoittamalla vaatimuksista mahdollisuuksien mukaan teknologianeutraaleja ja täydentämällä niitä mahdollisilla teknologialuokittaisilla vaatimuksilla tai ohjeistuksella. Pienreaktoreiden arvioinnissa korostuu jo nykyisinkin ydinenergialaissa esitetty periaate vaatimusten mitoittamisesta oikeassa suhteessa laitoksen aiheuttamiin riskeihin. ☸

TEOLLISUUDEN VOIMA OY
Ydinjätetoimisto

V. Ryhänen/pta
3.2.1984

Käytetyn polttoaineen loppusijoitukseen liittyvät kallioperätutkimukset vuosina 1983–85

Teksti: Veijo Ryhänen, projektipäällikkö, Teollisuuden Voima Oy

TEOLLISUUDEN VOIMA OY:N Olkiluodon voimalaitoksen ydinjätehuollossa vauraudutaan käytetyn polttoaineen loppusijoitukseen Suomessa. Tähän liittyvä tutkimustoiminta käynnistyi Suomessa 1970-luvun lopulla. Vuonna 1982 valmistuneen soveltuvuustutkimuksen [1] tulokset osoittavat, että käytetty polttoaine voidaan loppusijoittaa turvallisesti Suomen kallioperään. Loppusijoitus on suunniteltu aloitettavaksi vuonna 2020, mikäli käytettyä polttoainetta ei toimiteta ulkomaille.

Olenaisen osan loppusijoitukseen liittyvistä jatkotutkimuksista muodostavat sijoituspaikkatutkimukset, jotka tähtäävät loppusijoituspaikan valintaan. Valtioneuvoston marraskuussa 1983 tekemässä periaatepäätöksessä [2] on asetettu seuraava aikataulu sijoituspaikkatutkimuksille (kuva 1):

- vuoden 1985 loppuun mennessä on laadittava käytettävissä olevan geologisen ja muun tutkimusaineiston perusteella selvitys useista sopivista alueista alustavia sijoituspaikkatutkimuksia varten
- vuoden 1992 loppuun mennessä on tehtävä näillä alueilla alustavat sijoituspaikkatutkimukset, joiden perusteella tulee valita parhaiten soveltuvat alueet yksityiskohtaisia sijoituspaikkatutkimuksia varten

- vuoden 2000 loppuun mennessä on näillä alueilla suoritettava yksityiskohtaiset sijoituspaikkatutkimukset ja niiden perusteella valittava yksi turvallisuus- ja ympäristönsuojeluvaatimukset täyttävä loppusijoituspaikka.

Loppusijoitustilan rakentamislupaa varten tarvittavat täydentävät tutkimukset valitulla loppusijoituspaikalla on tehtävä vuoden 2010 loppuun mennessä. Sijoituspaikkatutkimuksille on laadittu ohjelma [3], jossa on esitetty suunnitelmat kussakin vaiheessa käytettäville tutkimusmenetelmille ja tutkimusten laajuudelle.

Vuosien 1983–85 tutkimusten tavoitteet

Sijoituspaikkatutkimusten aikataulun mukaisesti ensimmäinen varsinainen kenttätutkimusvaihe alkaa vuonna 1986. Sijoituspaikkatutkimuksiin kuuluu keskeisenä osana syvien reikien avulla tehtävät kallioperätutkimukset. Jotta vuonna 1986 oltaisiin valmiita aloittamaan useita alueita käsittäviä tutkimusvaiheita, on vuosien 1983–85 aikana

- valittava tutkimusalueita käytettävissä olevan geologisen ja muun tutkimusaineiston perusteella

- hankittava tekninen valmius syvien reikien avulla tehtäviin kallioperätutkimuksiin.

Tutkimusalueita valittaessa käydään läpi Suomen alue kokonaisuudessaan loppusijoituksen vaikuttavien tekijöiden kannalta. Teknistä valmiutta kehitetään muun muassa vuonna 1984 kairattavan koareiän avulla. Näitä asioita on selvitetty lähemmin seuraavissa kappaleissa.

Alueiden valinta sijoituspaikkatutkimuksiin

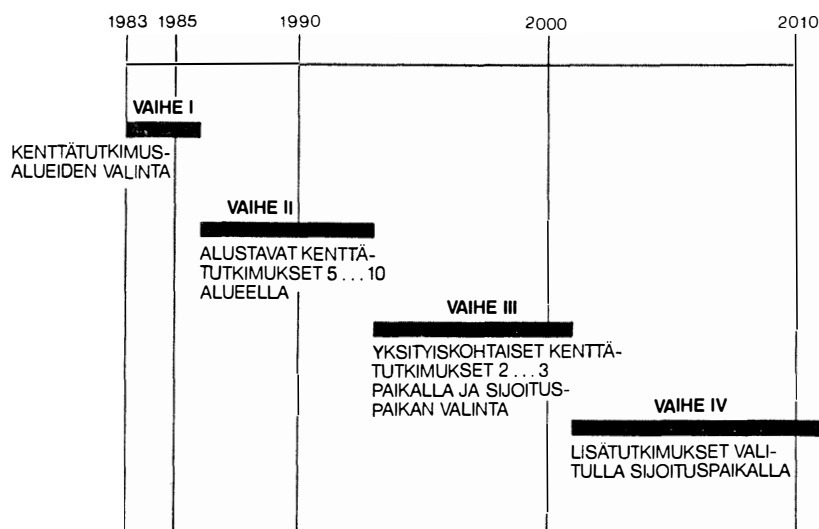
Valittaessa sijoituspaikkatutkimuksiin soveltuvia alueita ovat tarkastelun kohteena

- geologiset tekijät
- muut asiaan vaikuttavat tekijät.

- Keskeisiä geologisia tekijöitä ovat
- kivilajin on oltava yleisesti Suomen kallioperässä esiintyvää
 - paikka ei saa sijaita malminetsinnällisesti mielenkiintoisella alueella
 - paikka ei saa sijaita suuren ruhjevyyöhykkeen välittömässä läheisyydessä.

Geologisia olosuhteita tarkasteltaessa on todettu, että mitään Suomen kallioperän pääkivilajiyksiköistä ei ole perusteltua sulkea pois

Oheinen artikkeli on julkaistu ATS Ydintekniikan numerossa 2/1984. Kirjoittaja toimi Posiva Oy:n ensimmäisenä toimitusjohtajana vuosina 1996–2004. Hän oli ATS:n johtokunnassa vuosina 2009–2011, joista kaksi viimeistä vuotta varapuheenjohtajana. Artikkelin lopussa on kirjoittajan tuoreet kommentit ”37 vuotta myöhemmin”.



Kuva 1. Käytetyn polttoaineen sijoituspaikkatutkimusten vaiheet

mahdollisten loppusijoituskohteiden joukosta [4]. Geologiset tarkastelut tutkimusalueita valittaessa tehdään olemassa olevan tutkimusaineiston perusteella, joka kansainvälisestikin katsoen on laaja. Käytettävissä on esimerkiksi kallioperä-, aeromagneettisia, gravimetrisiä ja seismisiä karttoja, maaperää, morfologiaa ja vesistöjä kuvaavia karttoja sekä satelliittikuvia.

Muita kuin geologisia tutkimusalueiden valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat

- asutus
- maankäytön rajoitukset (suojelualueet, erityistoimintojen alueet)

- pohjavesiolosuhteet (yhdyksuntien vedenhankinta)
- tieyhteydet
- maanomistus.

Vuosien 1983–85 selvitystyö (kuva 2) etenee siten, että aluksi rajataan geologisin perustein suurehkoja (tyypillisesti useita kymmeniä neliökilometrejä) kalliioalueita, jotka täyttävät sijoituspaikkatutkimuksiin soveltuville alueille asetettavat vaatimukset. Rajattavia alueita tulee olemaan joka puolella Suomea yhteensä useita satoja. Näitä alueita tarkastellaan sen jälkeen muiden kuin geologisten

tekijöiden kannalta, mikä karsii osan alueista pois.

Sopivimmat alueet käydään läpi yksityiskohtaisemmin kaikkien asiaan vaikuttavien tekijöiden kannalta. Tavoitteena on erottaa em. suurehkojen kalliioalueiden sisältä kenttätutkimuksiin soveltuvia pienempiä, yhtenäisiä kalliomuodostumia. Loppuvaiheessa karttahavainnot varmennetaan suorittamalla maastokäyntejä mahdollisille tutkimusalueille.

Valtioneuvoston periaatepäätöksen mukaisesti vuoden 1985 lopussa on oltava tiedossa useita alueita alustavia sijoituspaikkatutkimuksia varten, arviolta 5–10 aluetta.

Tutkimusmenetelmien kehittäminen ja testaus koereiän avulla

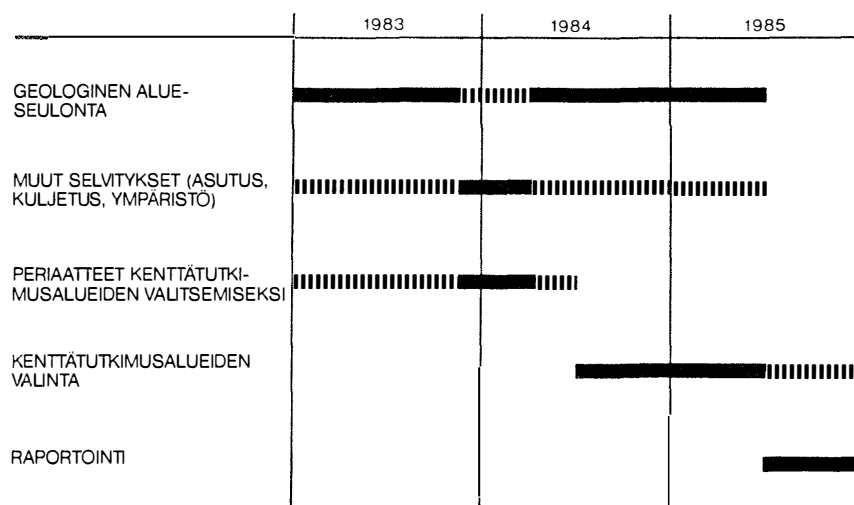
Käytetyn polttoaineen loppusijoitukseen liittyvien paikkatutkimusten erikoispiirteinä ovat syvien kairausreikien avulla tehtävät kallioperätutkimukset. Osa tutkimusrei'istä kairataan 500–1 000 metrin syvyisiksi.

Suomessa on kairattu malminetsinnän yhteydessä lukuisia syviä reikiä. Pisin reikä ulottuu noin 1300 metrin syvyyteen. Erona tuleviin sijoituspaikkatutkimuksiin verrattuna ovat olleet seuraavat tekijät:

- malminetsintätutkimuksissa päähuomio on kohdistunut kairauksesta saatavan kalliönäytteen tutkimiseen, kun taas sijoituspaikkatutkimuksissa paino on reiässä tehtävillä mittauksilla
- malminetsintäreikien koko on ollut pienempi (halkaisija yleensä 46 mm) kuin sijoituspaikkatutkimuksissa tarvittavien reikien.

Keski- ja matala-aktiivisten ydinjätteiden loppusijoitukseen liittyviä kallioperätutkimuksia on tehty ydinvoimalaitospaikoilla vuodesta 1980 lähtien. Näitä varten tehdyt kairaukset ovat ulottuneet noin 200 metrin syvyyteen. Reikien avulla tehdyt tutkimukset ovat olleet samantyyppisiä kuin tulevat käytetyn polttoaineen loppusijoitukseen liittyvät tutkimukset. Kuitenkaan käytössä olleet laitteet ja menetelmät eivät sellaisenaan sovellu käytetyn polttoaineen sijoituspaikkatutkimuksiin, mikä johtuu ensisijaisesti käytetyn polttoaineen loppusijoitustutkimuksille asetettavista suuremmista vaatimuksista sekä tutkimusten ulottumisesta huomattavasti syvemmälle.

Jotta Suomessa oltaisiin valmiita suorittamaan valtioneuvoston periaatepäätöksen mukaisesti alustavat sijoituspaikkatutkimukset useilla alueilla vuosina 1986–92, vuonna 1984 kairataan yksi syvä reikä, ns. koereikä, jossa testataan vuosina 1984–85 erilaisia tutkimusmenetelmiä ja -laitteita. Lisäksi koereiän



Kuva 2. Alueiden valinta sijoituspaikkatutkimuksiin.

avulla saadaan kokemuksia kenttätutkimusalueiden valintaa sekä tutkimusten käytännön organisointia varten.

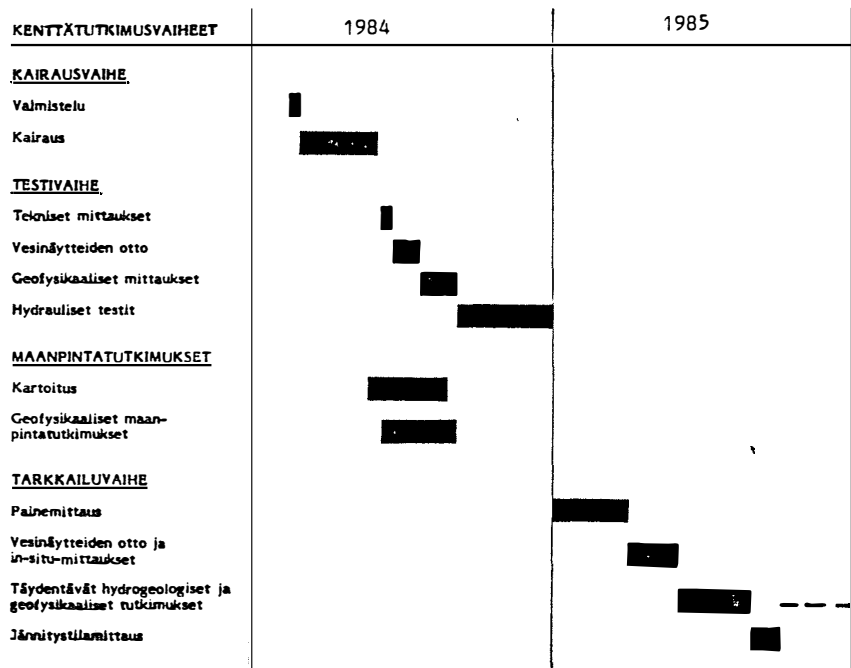
Koereiän kairauspaikaksi on valittu Laviassa Katossuon länsipuolella sijaitseva kallioalue. Paikan valinta suoritettiin pääosin samojen periaatteiden mukaan, joita käytetään myös jatkossa tutkimusalueita valittaessa ja jotka on esitetty yllä. Poikkeuksena koereiän kohdalla oli se, että paikanvalinnassa rajoitettiin Etelä- ja Länsi-Suomeen, jotta tutkimusalueen ja tutkimusorganisaatioiden välinen maantieteellinen etäisyys olisi kohtuullinen ensimmäisen syvän reiän tapauksessa.

Katossuon kallioalue on loivaa avokalliota, jossa kivilajina on graniitti. Koereikä kairataan 700–1000 metrin syvyiseksi kallionäytekairauksena. Reiän halkaisija on 56 mm. Syvän reiän läheisyyteen kairataan 1–2 matalaa reikää porakonekairauksena.

Syvässä reiässä tehtävin mittauksin selvitetään pohjaveden liikkumista kallioraoissa ja reikää ympäröivän kallion ominaisuuksia. Muita reikiä käytetään hyväksi tutkittaessa reikien väliin jäävän kallioerän ominaisuuksia.

Kairauksesta saatavista kallionäytteistä kartoitetaan kivilajit ja raot. Kallionäytteiden ominaisuuksia tutkitaan erilaisin laboratoriomittauksin. Reiästä otettaville pohjavesinäytteille tehdään kemialliset analyysit.

Koereiän ympäristössä avokallioalueilla tehdään kivilaji- ja rakokartoitus. Kallioerän geologisia pääpiirteitä selvitetään maanpinnalta tehtävien geofysikaalisten tutkimusten avulla.



Kuva 3. Koereiän kairaus- ja tutkimusaikataulu [5]

Koereiän kairaus- ja tutkimusohjelman aikataulu on esitetty kuvassa 3. Koko ohjelman kustannusarvio on noin 4,7 milj. mk.

Yhteenveto

Valtioneuvosto on marraskuussa 1983 tehnyt periaatepäätöksen, jonka mukaisesti käytetylle polttoaineelle on Suomessa valittava loppusijoituspaikka vuoden 2000 loppuun mennessä. Paikkatutkimusohjelman ensimmäinen vaihe on käynnistynyt vuonna 1983 ja jatkuu vuoden 1985 loppuun saakka. Tänä aikana valitaan tutkimusalueita vuodesta 1986 alkaen käynnistyviin alustaviin sijoituspaikkatutkimuksiin sekä hankitaan syvän koereiän avulla teknistä valmiutta kallioerätutkimusten suorittamiseen.

ATS Ydintekniikan 2/1984 artikkeli nyt nähtynä

Kirjoitusajankohtana 37 vuotta sitten loimme TVO:ssa pohjaa Posivan pitkäjänteiselle ohjelmalle, joka on nyt edennyt loppusijoitustunnelien louhintaan. Hankkeen alkutaipaleella 1980-luvulla keskeisiä etappeja olivat Lavian koereikäprojekti sekä tutkimuspaikkojen valinta ja kairauksen aloittaminen. Mediailmapiiri ja kansalaisten asenteet olivat tuona aikana varsin kriittisiä ydinjätteen loppusijoitusta kohtaan.

Artikkelissa esittämäni ohjelman edetessä siihen tarvittiin aika ajoin säätöä ja uusia elementtejä, mutta päätavoitteista pidettiin kiinni. Vuonna 1987 kenttätutkimuksiin valittiin viisi aluetta: Eurajoki, Sievi, Kuhmo, Hyrynsalmi ja Konginkangas sekä sittemmin 1990-luvulla myös Loviisa – kairauksia, tutkimuksia, mallintamista ja viestintää. Tärkeässä roolissa olivat myös paikallistoimistot ja tutkimuskuntien kanssa perustetut yhteistyöryhmät.

Vuonna 1999 esitimme loppusijoituspaikaksi Olkiluotoa. Myös Eurajoen kunta ja eduskunta tukivat vahvasti hanketta. Näin olimme edenneet vuosina 1980–2000 ydinjätealan kansainvälisessä vertailussa oppipojasta edelläkävijäksi. Kun Posiva aloittaa loppusijoituksen 2020-luvun puolivälissä, tuskinpa ydinjäte on enää suomalaisille merkittävä ”ratkaisematon ongelma”, kuten se oli vielä 1980-luvulla.

Veijo Ryhänen

Viitteet

- 1 Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus Suomen kallioerään. Raportti YJT-82-46. Teollisuuden Voima Oy. Marraskuu 1982.
- 2 Valtioneuvoston 10.11.1983 tekemä periaatepäätös ydinjätehuollon tutkimus-, selvitys- ja suunnittelutyön tavoitteista.
- 3 Äikäs, T. & Laine, T., Korkea-aktiivisen ydinjätteen loppusijoituksen sijoituspaikkatutkimukset - Tutkimusohjelma. Raportti YJT-82-56. Saanio & Laine Oy. Joulukuu 1982.
- 4 Vuorela, P. & Hakkarainen, V., Suomen kallioerän soveltuvuus korkea-aktiivisen ydinjätteen loppusijoitukseen. Raportti YJT-82-58. Geologinen tutkimuslaitos. Joulukuu 1982.
- 5 Äikäs, T., Koereikä-tutkimusohjelma. TVO/KOEREIKÄ, Työraportti 83-01. Saanio & Laine Oy. 21.11.1983.

Development of ceramic based wasteforms and hot isostatic pressing for the disposition of UK plutonium materials

Stephanie M. Thornber^{1,2}, Neil C. Hyatt¹

¹The University of Sheffield, Hadfield Building, Mappin Street, Sheffield, South Yorkshire, UK, S1 3JD

²The National Nuclear Laboratory, Havelock Road, Workington, Cumbria, UK, CA14 3YQ

The UK has the world's largest inventory of civil separated PuO₂ totalling around 140 tHM. The current policy is to fabricate the material into mixed oxide fuel for reuse in reactors, however, an alternative disposition option is also required to treat material unsuitable for reuse. Hot Isostatic Pressing (HIPing) is a technology being developed as an option for consolidating PuO₂ and related Pu-residue materials into ceramic / glass-ceramic wasteforms suitable for long-term storage and geological disposal. Optimisation and active validation of zirconolite based glass-ceramic formulations to maximise waste loading and accommodation of contaminants is presented, as well as the technological advancements made towards maturing the HIP technology for processing nuclear waste in the UK.

Yhdistyneessä kuningaskunnassa on maailman suurin siviilikäytöstä eroteltu PuO₂-inventaarior, yhteensä noin 140 tHM. Nykyinen suunnitelma on käyttää materiaali ydinreaktoreissa osana sekaoksidipolttoainetta, mutta tarvitaan myös vaihtoehtoinen sijoitusvaihtoehto sen materiaalin käsittelyyn, joka ei sovellu uudelleenkäyttöön. Kuuma-isostaattista puristustekniikkaa (HIP) kehitetään vaihtoehtona PuO₂:n ja siihen liittyvien Pu-jäännös-materiaalien yhdistämiseksi keraamisiksi / lasikeraamisiksi jätemuodoiksi, jotka soveltuvat pitkäaikaiseen varastointiin ja geologiseen loppusijoitukseen. Tässä esitellään zirkonoliittipohjaisten lasikeraamisten seosten optimointi ja aktiivinen validointi tavoitteena maksimoida jätteiden kuormaus ja epäpuhtauksien pidätys, sekä tekniset edistysaskeleet ydinjätteiden käsittelyyn tarkoitettun HIP-tekniikan kehittämiseksi Isossa-Britanniassa.

The UK has reprocessed spent nuclear fuel since the 1950's and has a resultant inventory of around 140 tHM separated PuO₂. Whilst the current UK Plutonium Policy is to fabricate the PuO₂ into mixed oxide fuel for reuse in reactors, a notable fraction of the inventory is unsuitable for use as fuel. Consequently, there is a need for an alternative disposition option for treating these materials.

The Nuclear Decommissioning Authority (NDA) is developing multiple disposition options and has identified hot isostatic pressing (HIPing) as a potential technology for consolidating PuO₂ and related residues into ceramic / glass-ceramic materials suitable for long-term storage and geological disposal [1]. HIP technology uses high temperatures and pressures to synthesise and densify ceramic products inside hermetically sealed stainless steel canisters suitable for long-term storage. HIP is capable of processing PuO₂ into a form that is considered "Beyond Reach" and in alignment with geological disposal requirements.

Ceramic materials have been developed for more than 50 years as potential matrices for Pu disposition. Ceramics can accommodate higher Pu loadings than equivalent vitreous materials and are more durable and proliferation resistant. This makes these materials suitable for geological disposal and places the material in a form which

can be considered Beyond Reach and reduces the long-term security burden during storage [1].

This PhD thesis studied zirconolite glass-ceramics for Pu disposition and focused on formulation optimisation, the effect of CaF₂ as a waste digesting agent, the effect of Cl contamination and waste incorporation behaviour through surrogate studies and PuO₂ validation tests.

Formulation development

Formulation studies revealed a strong correlation between glass composition and the resultant crystalline phase assemblage in the glass-ceramics. An Al₂O₃ rich glass was found to promote a higher yield of zirconolite and subsequently reduced the abundance of accessory phases in the final wasteform (Figure 1). It was previously theorised

Stephanie Thornber voitti ENS High Scientific Councilin väitöstyöpalkinnon vuonna 2020. Lisätietoja ATS:n verkkosivuilta: www.ats-fns.fi/fi/11-ajankohtaista/155-stephanie-thornber-wins-the-ens-high-scientific-council-phd-award-2020

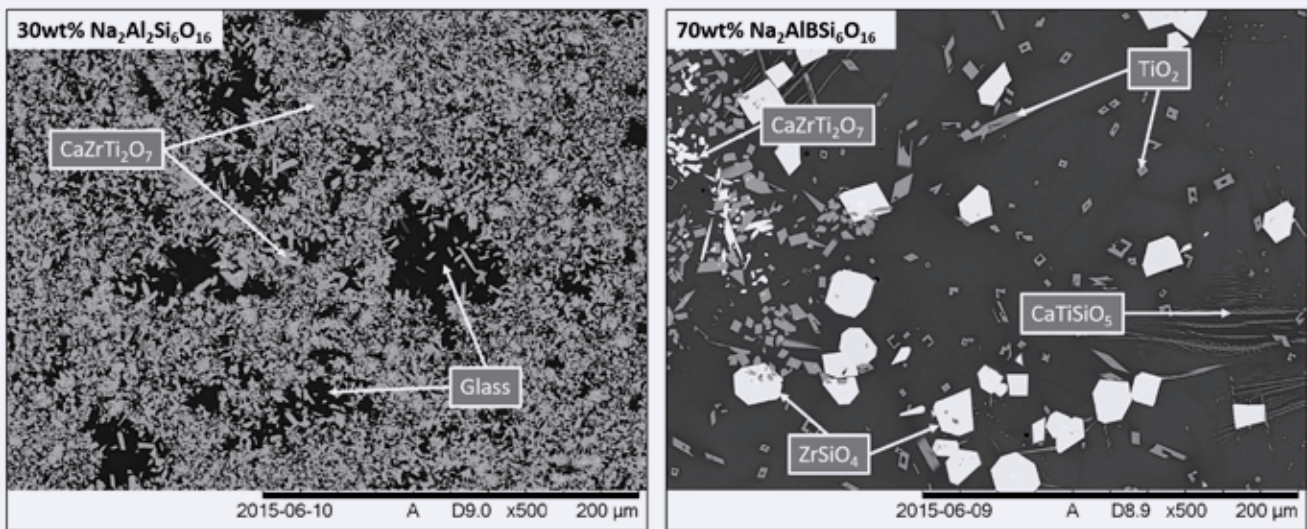


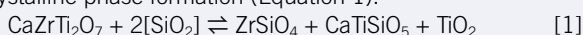
Figure 1. Backscattered electron micrographs of the end member formulations showing the effect of glass composition on the crystalline phase assemblage; (left) Low glass fraction with high Al_2O_3 results in single phase $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$ formation; (right) High glass fraction and 1 : 1 molar ratio of Al_2O_3 : B_2O_3 resulted in a mixed crystalline phase assemblage of ZrSiO_4 , CaTiSiO_5 , TiO_2 and only small amounts of $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$.

that thermodynamic effects controlled the activity of SiO_2 in the system and its affinity to incorporate in the glass phase or form mixed oxide crystalline phases [2]. Building on this at an atomistic level, it was hypothesised that changes to the Al_2O_3 : B_2O_3 ratio in the glass resulted in changes to the glass connectivity, the solubility of CaO , ZrO_2 and TiO_2 within the glass and the activity of SiO_2 to form crystalline phases [3].

In alkali aluminoborosilicate glasses Na_2O is present as a modifier and preferentially charge compensates tetrahedral Al units, $[\text{AlO}_{4/2}]^-$. If $\text{Na}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3$, all Al^{3+} is expected to be stabilised in tetrahedral coordination and excess Na^+ ions are available to stabilise other species in the glass. Review of available literature revealed that $[\text{ZrO}_{6/2}]^{2-}$, $[\text{TiO}_{5/2}]^-$ and $[\text{BO}_{4/2}]^-$ tetrahedra are preferentially stabilised within alkali aluminoborosilicate glass systems ahead of $[\text{SiO}_{3/2}\text{O}]^-$ tetrahedra, thus reducing the availability of ZrO_2 and TiO_2 to form crystalline phases and simultaneously increasing the propensity of SiO_2 to form crystalline phases.

Increasing ZrO_2 , TiO_2 and B_2O_3 in the glass increases the amount of non-bridging oxygens, thus reducing the connectivity of the glass and increasing the solubility of CaO within. Nuclear Magnetic Resonance (NMR) and Electron Probe Micro-Analyser (EPMA) data supported the literature findings and confirmed decreased connectivity of the glass structure through the formation on non-bridging oxygens caused by the substitution of Al_2O_3 for B_2O_3 , and a subsequent increased concentration of CaO , ZrO_2 and TiO_2 within the glass phase [3].

Through formulation studies a glass-ceramic formulation was achieved that maximised the yield of zirconolite, present as the only crystalline phase. The formulation comprised a 30 wt% glass fraction of target composition $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$ and was taken forward for waste incorporation trials. The formulation matrix revealed the effects of Al_2O_3 : B_2O_3 ratio and glass fraction on the crystalline phases formed. The opposite end member, 70 wt% glass fraction of $\text{Na}_2\text{AlBSi}_6\text{O}_{16}$, had a low yield of zirconolite and consisted of additional crystalline phases ZrSiO_4 , CaTiSiO_5 and TiO_2 (Figure 1). This was in agreement with previous work and the thermodynamic theory of SiO_2 activity controlling crystalline phase formation (Equation 1).



Inactive incorporation trials

With an optimised formulation identified, CeO_2 was used as a surrogate for PuO_2 to evaluate the incorporation behaviour of the glass-ceramic. Ce was targeted for substitution on the Ca and/or Zr sites within the zirconolite matrix and successful incorporation was achieved up to 0.2 formula units (f.u.) substitution without the formation of secondary Ce-bearing crystalline phases.

Historically, CaF_2 was added as a precursor to balance an Al_2O_3 rich formulation and aid waste digestion [2], however the 100 % abundant ^{19}F ions increase the neutron source term of the wasteform and

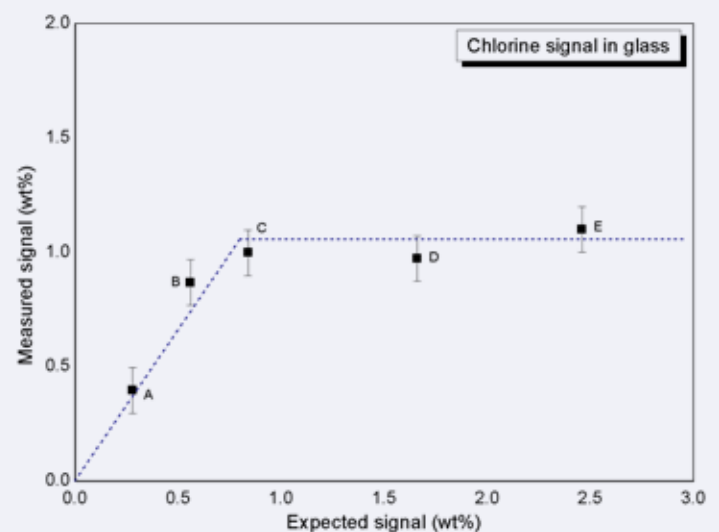


Figure 2. Measured Cl signal plotted against the targeted level within the glass revealing the solubility limit of 1.0 ± 0.1 wt% (Taken from [4]).

add to the occurrence of problematic (α,n)-reactions. Through inactive incorporation trials and optimisation of milling parameters during sample preparation, successful waste incorporation was achieved for loadings up to 0.2 f.u., without the addition of CaF_2 . Coupling this with the removal of B_2O_3 from the glass composition, the neutron source term of the wasteform was significantly reduced and the occurrence of (α,n)-reactions minimised. This was a significant result for the future acceptance of the waste packages for geological disposal by reducing a contributing factor to the risk of criticality.

Contamination trials

Some PuO_2 packages are contaminated with Cl due to degradation of polyvinyl chloride (PVC) packaging during storage. Glass-ceramics partition actinides into the durable ceramic phase whilst incorporating contaminants such as Cl in the glass phase. The Cl solubility of the optimised glass-ceramic formulation was investigated to determine if the 30 wt% glass fraction would accommodate the expected Cl contamination levels associated with some PuO_2 feeds. NaCl was initially used to minimise the risk of volatilising the Cl.

Scanning electron microscopy – energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS) was used to study the Cl concentration in the glass which was found to increase up to 1.0 ± 0.1 wt% before plateauing (Figure 2 taken from [4]). This indicated that no more Cl was being incorporated into the glass phase and the solubility limit had been exceeded, this was further supported by SEM-EDS elemental mapping which revealed hotspots of NaCl in samples with higher contamination levels [4]. SEM-EDS also confirmed that the Cl and Ce were successfully partitioned into the glass and ceramic phases, respectively.

The concluded solubility limit of 1.0 ± 0.1 wt% was above the maximum envisaged Cl inventory of 0.5 wt% attainable with a 20 wt% PuO_2 loading and gave confidence that the optimised formulation would comfortably accommodate any Cl contamination associated with the active feed. Further investigations into the speciation and local environment of Cl within the glass was performed using X-ray



Figure 3: Pu containing HIP canister before and after processing (Taken from [5]).

Absorption Near Edge Spectroscopy (XANES) by comparing the samples against a highly comprehensive library of natural and synthetic Cl containing minerals [4].

Active validation

Success of inactive surrogate incorporation trials enabled progression to UO_2 surrogate trials and PuO_2 validation trials conducted at the Australian Nuclear Science & Technology Organisation (ANSTO). The first Pu sample, shown in Figure 3, was formulated for a 0.1 f.u. substitution of Pu within the zirconolite phase ($\text{CaZr}_{0.9}\text{Pu}_{0.1}\text{Ti}_2\text{O}_7$) and achieved full incorporation of the actinide into the target phase without production of secondary Pu-bearing phases. SEM revealed a uniform microstructure of zirconolite crystals distributed throughout the glass matrix and X-ray diffraction (XRD) confirmed zirconolite as the only crystalline phase present, shown in Figure 4 [5].

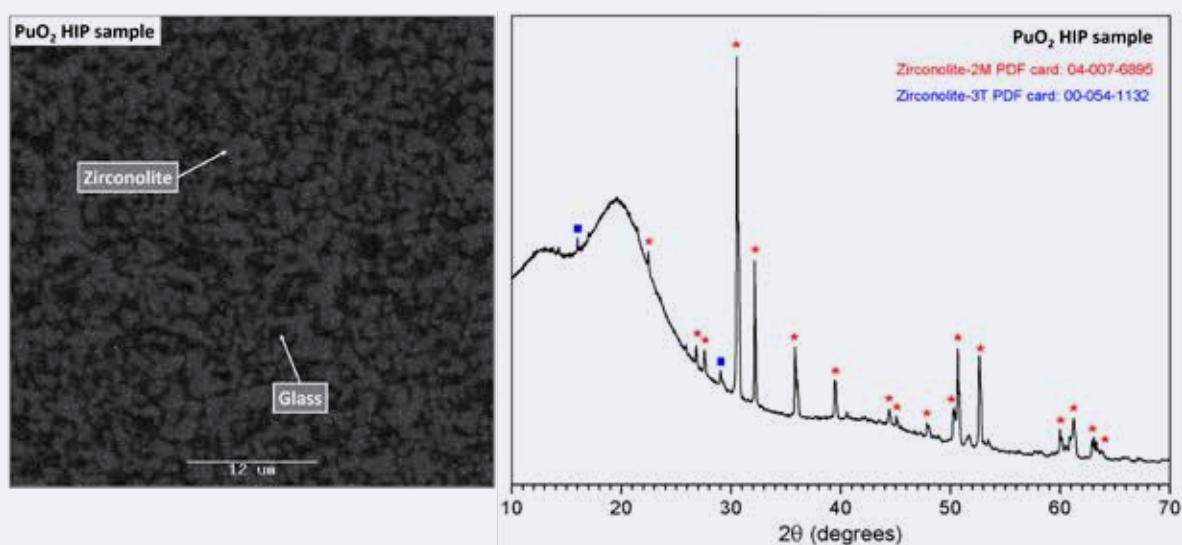


Figure 4: SEM and XRD confirmed zirconolite as the only crystalline phase uniformly distributed through the glass matrix. No residual PuO_2 was observed (Adapted from [5]).

This initial sample formed part of a matrix investigating the effect of controlled oxygen fugacity on the partitioning behaviour of Pu. Further samples had higher PuO₂ loadings and included Fe, Ni or Ti metal powder to encourage the reduction of Pu⁴⁺ to Pu³⁺ and determine whether the production of secondary Pu-bearing phases such as perovskite could be expected to form under more reducing conditions.

Wider impact

This PhD thesis contributes to the NDA's plutonium disposition programme and the advancement of ceramic based wasteforms and HIP technology for treating nuclear waste materials in the UK. This work supports ongoing developments at The National Nuclear Laboratory to design and commission a new alpha active glovebox and HIP facility

for production of plutonium active ceramic HIP samples in the UK, in support of the NDA's mission to determine a long-term plutonium management strategy.

Acknowledgements

PhD thesis article "The development of zirconolite glass-ceramics for the disposition of actinide wastes" was successfully defended on 14th May 2018 at The University of Sheffield, UK. This PhD thesis was funded by EPSRC and iCASE studentship sponsored by the Nuclear Decommissioning Authority. The authors are grateful to the NDA and ANSTO for funding and collaboration for the uranium and plutonium HIP work.

References

- [1] Nuclear Decommissioning Authority (NDA), "Progress on Plutonium Consolidation, Storage and Disposition," NDA, UK, 2019.
- [2] E. R. Maddrell, S. M. Thornber and N. C. Hyatt, "The influence of glass composition on crystalline phase stability in glass-ceramic wasteforms," vol. 456, 2015.
- [3] S. M. Thornber, "PhD Thesis: Development of zirconolite glass-ceramics for the disposition of actinide wastes," The University of Sheffield, 2018.
- [4] S. M. Thornber, L. M. Mottram, A. R. Mason, P. Thompson, M. C. Stennett and N. C. Hyatt, "Solubility, speciation and local environment of chlorine in zirconolite glass-ceramics for the immobilisation of plutonium residues," vol. 10, 2020.
- [5] S. M. Thornber and et. al, "A preliminary validation study of PuO₂ incorporation into zirconolite glass-ceramics," MRS Advances, pp. 1065-1071, 2018.

Authors



Dr Stephanie M. Thornber
Senior Research Technologist
The National Nuclear Laboratory
steph.thornber@uknpl.com



Prof Neil C. Hyatt
Professor of Nuclear Materials Chemistry
The University of Sheffield
n.c.hyatt@sheffield.ac.uk

Sensitivity of seismic hazard analysis in Finland: Overview of the SENSEI project

Päivi Mäntyniemi¹, Marianne Malm², Simon Burck³, Olli Okko³, Pekka Välikangas³, Ludovic Fülöp⁴

¹ University of Helsinki, ² AFRY Finland Ltd, ³ Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), ⁴ VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

In this article we describe the SENSEI project conducted under the auspices of STUK, the Radiation and Nuclear Safety Authority of Finland, in 2019–2020. The project aimed at exploring the sensitivity of probabilistic seismic hazard analysis outputs to different choices of input parameters, based on the seismicity data available in Finland. We focus on the working procedure of the project, review its course and achievements, and discuss the possible scope of this kind of approach to seismic hazard analysis.

[Artikkeli esittelee SENSEI-projektin, joka toteutettiin Säteilyturvakeskuksen \(STUK\) johdolla 2019–2020.](#)

[Projektin päämääränä oli selvittää, kuinka herkkiä stokastisen seismisen hasardianalyysin tulokset ovat syötöparametrien arvojen vaihtelulle. Projektissa käytettiin Suomen maanjäristyshavaintoja. Artikkelissa kuvataan projektin työmenetelmää ja etenemistä, tarkastellaan sen aikaansaannoksia ja arvioidaan lähestymistavan käyttökelpoisuutta hasardianalyysissa.](#)

Introduction

Probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) is a methodology used to estimate the probability that some measure of earthquake ground motion will be exceeded at the target site or region during a specified time period in the future. The outcomes of PSHA, such as seismic hazard curves and ground-shaking maps based on sound earth-science research, are aimed at mitigating damage from future earthquakes. The construction of critical installations, such as nuclear power plants (NPPs), dams, oil platforms, and repositories for spent nuclear fuel, are subjected to mandatory site-specific seismic hazard analyses in high-seismicity and low-seismicity regions alike.

Several PSHA outcomes may be available for one and the same geographical region or site, and they may differ somewhat from each other in various respects. It may not be a straightforward process to determine the source of these differences and which outcomes are to be relied upon, because the techniques used are complex and may not be completely documented. The differences may also result from the information gathering and assembly processes used. The available scientific databases are typically limited, even in regions where earthquakes occur relatively frequently. One obstacle encountered in many parts of the world is the lack of strong-motion data measured at short distances from earthquakes. Due to the rarity of large-magnitude earth-

quakes, new insights arise whenever a large earthquake is recorded with high-quality instruments.

Epistemic uncertainties are extensive in low-seismicity regions such as the Fennoscandian Shield. They can be reduced by acquiring more data, improving modelling, and accumulating knowledge over the course of time. However, the rarity of large-magnitude earthquakes in Fennoscandia makes it difficult to acquire empirical observations on damaging earthquakes. As seismic design is not required in the general building code in Finland, outside the nuclear energy field there has been only limited interest in seismic hazard analysis and in the development of the seismic monitoring network to better support seismic hazard studies. The seismic hazard analyses on the NPP site in Loviisa date back many decades [e.g., 1], and the question of how to carry out the associated procedures remains very relevant in Finland. In line with international recommendations (e.g., [2,3]), the guide YVL B.7 by STUK [4] requires, in Clause 409, that seismic hazard analyses are to be reassessed every ten years.

Faced with the related difficulties and uncertainties, STUK, the Radiation and Nuclear Safety Authority of Finland, decided in 2018 to initiate the SENSEI (SENsitivity study of SEismic hazard analysis) project, with the goal of exploring the sensitivity of PSHA output to different choices of input, using seismicity data available in Finland. As

preparation to SENSEI, during 2015–2018 STUK and VTT were leading the CompPSHA project, a comparison study of PSHA results in Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) countries [5]. The CompPSHA work was useful for planning the SENSEI project at STUK.

The SENSEI project did not aim to verify any existing outcome of PSHA, nor did it aim to produce new, complete PSHA outcomes to be imposed on regulations, or future work as such. Instead, the main goal was to explore the sensitivity of results to input choices, to a far broader extent than is usually possible during PSHA projects, and to facilitate the comparison of the seismic hazard studies conducted for different sites in Finland. According to the earlier experiences of STUK, reviews of PSHAs by international experts are of limited value, if additional calculations are not carried out to demonstrate the significance of the findings.

In the following sections, we describe the working procedure and course of the SENSEI project carried out in 2019–2020, review its achievements, and discuss the possible scope of this approach for seismic hazard analysis.

Working procedure of the project

The SENSEI project was conducted under the auspices of STUK, which was also responsible for recruiting the project participants. The external participants were divided into an expert and a calculation group (Figure 1). The organization of the project combined international expertise on PSHA and Finnish expertise on regional seismology and geology, earthquake catalogs, and existing PSHA models. The expert group members were not involved in any PSHA work in Finland, and were rather unfamiliar with the seismicity data available there. Their primary task has been to identify the key review points (Figure 1). This also facilitated discussion and contributed to knowledge exchange between the two groups.

The purchase orders for expert services for STUK were made according to the EU-legislation for large public procurements. First, a market survey was carried out to identify interested parties that have experience in Fennoscandian seismology and seismic engineering. Thereafter, the tasks were defined and criteria for selecting the competent service providers were laid down before the competing tendering for procurements was carried out with the assistance of Hansel Ltd, the procurement organisation to support public purchasing.

SENSEI consisted of a structured sequence of steps, including a kick-off meeting and two expert panels (workshops), all moderated by STUK (Figure 2). The kick-off meeting was organized on 5 and 6 March 2019, the first workshop on 17 to 19 September 2019, and the second workshop on 25 to 27 February 2020. All of these took place in Helsinki, but after the second workshop only video-conferences could be held due to the covid-19 pandemic. A number of shorter meetings were held online. The final meeting was organized on 17 and 18 November 2020.

The SENSEI project was tragically hit by the pandemic when one member of the expert group passed away as a victim of covid-19 in the summer of 2020.

Prior to the kick-off meeting, STUK distributed the information to be reviewed by the expert group, which was



Figure 1. The main ingredients of the work conducted in the SENSEI project, in order to enhance understanding of probabilistic seismic hazard analysis in Finland.

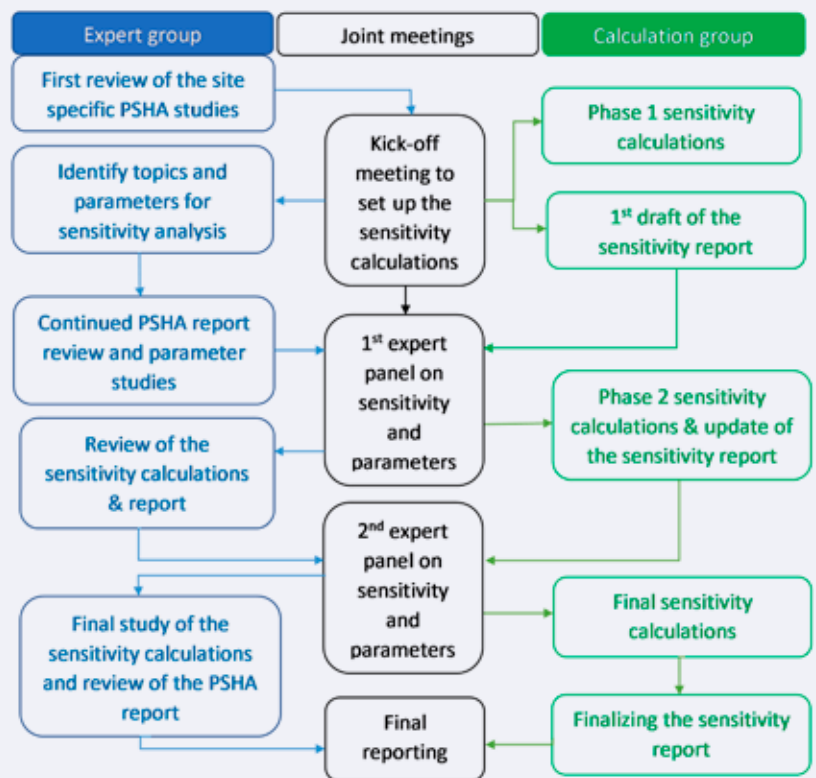


Figure 2. The general workflow of the SENSEI project.

composed of documents related to site-specific PSHAs in Finland. They were also available to the calculation group. The kick-off meeting focused on the questions raised by the experts on the basis of their review of the documentation. As an outcome, an initial list of issues to be explored was prepared. The work in the project advanced on the basis of structured discussions between the expert group, the calculation group, and STUK. STUK fine-tuned the direction of the work based on the discussion at the joint meetings. The general framework of the workflow is illustrated in Figure 2.

The issues raised and formulated by the expert group members were entered in a follow-up table, which was accessible to all participants throughout the project. It logged all the phases of each issue, from the reception to the resolution (Figure 3). A short description of the perceived issue affecting PSHA results and a reference to the respective PSHA document had to be given to file a request for analysis. An alternative method of analysis could be proposed. The expert group members also ranked the request by its priority to PSHA, and estimated the scope and time to be allocated to each issue.

The growing list of requests was reviewed at each meeting with STUK, and then prioritized and converted to tasks for the calculation group. Between meetings, the work was discussed in consecutive e-mail exchanges, and the responses were refined towards satisfactory conclusions. The calculation group formulated a response to the request, either by gathering literature or carrying out additional analyses, or both. Some resolutions to the requests were integrated into the sensitivity calculations. Alternatively, the request could be closed by agreement between the proposer and the calculation group member(s) looking into it, or the request could be declared unresolved (Figure 3). The additional analyses with references to relevant literature were reported as internal working documents of the project.

Throughout the entire project, the calculation group attended to the sensitivity calculations, which constituted the bulk of the work (Figure 2). The sensitivity calculations were begun using single branches of logic trees where individual input parameter values were changed one at a time, resulting in large volumes of output tables. Basic comparisons of the calculation sequences illustrate the changes between successive steps, and reveal those parameter values resulting in the largest impact on the output. Some larger logic-tree models composed of thousands of branches were also calculated. The results of these large logic-tree models were analyzed by comparing the results of different logic-tree branches. Since the branches correspond to individual inputs, such an analysis or harvesting of the logic tree can provide insight into the influence of different inputs.

The second workshop, and the period following it, were dedicated to ensuring the validity of the project outcomes and to requests for further quality checks. Additional data representations and illustrations, as well as various approaches to the analysis and synthesis of the results, were discussed.

Achievements of the SENSEI project

A number of software packages are available and have been benchmarked for PSHA [e.g., 6,7]. The sensitivity calculations in the SENSEI project were begun using the EZ-FRISK™ software package [8], a proprietary software, which conducts single-branch computations quickly. Collecting the outputs for complex logic-tree models is rather tedious and prone to mistakes, however, so the choice of software was shifted to OpenQuake [9]. It is an open-source software, and the interactive environment can act as a strong instrument for consultation and quality control.

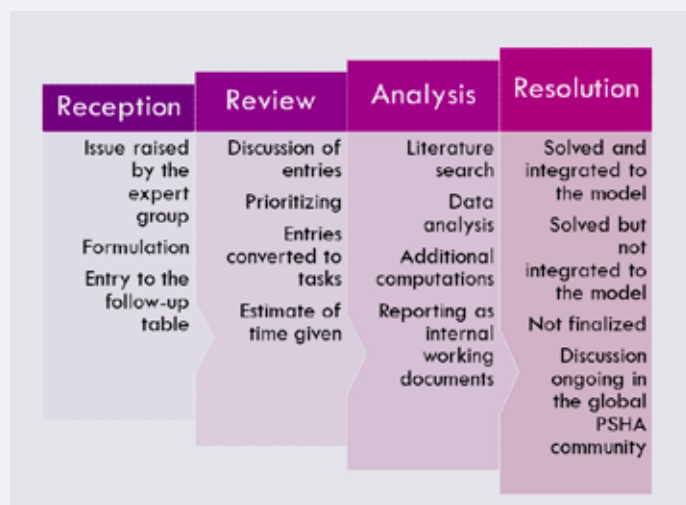


Figure 3. The workflow of specified issues in the follow-up table.

An example of a topic subjected to further investigation, prior to integration in the sensitivity analyses, was earthquake depth. An increase in the number of seismic stations has improved seismic monitoring in Finland in the past decades. Combined with the advent of more advanced analysis techniques, this means that earthquake parameters can now be determined more reliably than earlier. Earthquake depths are of general interest in geosciences because they give a glimpse of the subsurface conditions, and are of particular interest in PSHA because they determine the volume of the seismogenic crust.

The more reliable depth estimates suggest regional variation in the territory of Finland [e.g., 10], which can be worked into more region-specific earthquake depth distributions. It is clear that associated uncertainties remain, because the time span of improved monitoring is short and data accumulate slowly in Fennoscandia. However, lowering the detection threshold by deploying more stations results by definition in more data, but at the lower magnitude range. Local data features have a direct bearing on the input parameter formulations.

It is well known that ground motion prediction equations (GMPEs) have a major impact on PSHA output. A multitude of GMPEs have been developed [e.g., 11], and it is clear that no ultimate solution can be found within the framework of a single project. Specifically, the NGA-East GMPE [12] was used in the SENSEI project, in an attempt to capture the epistemic uncertainty and also the inevitable aleatory variability (i.e., randomness) of recorded ground motions. NGA-East is a suite of 17 GMPEs for mean prediction of the ground motion with six options for σ prediction. The average GMPE model, weighted between the 17 mean predictions, was used with weights published together with the GMPEs. The FennoG16 GMPE [13] was used parallel to the NGA-East mean GMPE in several sensitivity analyses, because it has been partly calibrated on local earthquake data and is therefore of special interest.

On the initiative of the expert group, seismic wave attenuation, in particular the spectral decay parameter kappa, was investigated for Oikiluoto in SW Finland as a Master's thesis [14]. It is quite challenging to estimate kappa values using very low-magnitude seismic events. No earlier attempts exist, so the results are very interesting and contribute to our understanding of the attenuation properties of the bedrock in Finland.

The internal working documents, the final report of the sensitivity analyses with output tables, and the Master's thesis constituted the

main reporting of the SENSEI project. A number of topics related to conducting PSHAs were discussed, and are expected to provide the stimulus for future work.

Discussion

The level of complexity and sophistication of PSHAs has increased since the approach was originally proposed in the late 1960s [15]. Modern PSHAs are typically conducted across many geoscience disciplines, and guidance is needed regarding how to incorporate the diversity of interpretation among the experts in these disciplines. The different interpretations of various experts may all be defensible, because the information about earthquake occurrence is limited. Also, PSHA includes scenarios not covered by the data.

The Senior Seismic Hazard Analysis Committee (SSHAC), formed in the US in 1993, is a well-known example of a body providing both technical and procedural guidance on how to perform PSHAs [16,17]. The Committee concluded that the major pitfalls in conducting a PSHA are more procedural than technical. The inter-disciplinary character of PSHAs presents major challenges, and requires a project structure that assures proper integration. Lack of integration and evaluation skills may partly explain the divergence of PSHA results. A system of rating different sophistication levels for PSHAs have been proposed in the SSHAC procedures [e.g., 18], with the higher levels being the most complex and resource intensive. The degree of interaction between experts increases with the SSHAC level, and is highly structured at the highest levels.

The SENSEI project was markedly distinct from any SSHAC-level procedure, or any other PSHA, because it did not aim to arrive at final results. It focused solely on seismicity data. However, some par-

allels nevertheless suggest themselves: the SENSEI can be seen as a different framework for providing guidance on how to carry out a PSHA. The project involved participants focusing on different aspects of the PSHA and seismic risk analyses. It represented a partnership approach, in which all participants contributed their expertise and shared knowledge throughout the project. The members of the expert group were impartial and unaffiliated with the national stakeholders. The SENSEI project was a cost-effective way to explore, transfer, and increase knowledge. In the higher-level SSHAC procedures, the project participants have clearly defined roles, whereas the SENSEI project was more like a forum for discussion steered by the feedback from the expert group (Figure 1).

The best state-of-the-art practices in earthquake seismology are derived from regions with ample data, typically on tectonic plate boundaries, and have a direct bearing on PSHA. Conducting a PSHA in the far-away plate interiors is no trivial undertaking, and warrants discussion. Although some issues can be safely ignored in Finland, such as soil profile properties, liquefaction, and site amplification due to construction on bedrock outcrops, the general sparsity of empirical data means that capturing the related epistemic uncertainties becomes very relevant. The models are typically logic trees, in which the knowledge and uncertainties in key parameter values and conceptual models are incorporated. Substantial aid can be obtained in the process from the SENSEI type of approach.

Acknowledgements

The licensees Fortum, TVO, and Fennovoima are acknowledged for their sponsorship and for providing their materials for the project. Posiva kindly provided the data for the Master's thesis.

References

- [1] Varpasuo, P. & Puttonen, J. The seismic hazard study for Southern Finland. In: SMiRT 8 Transactions. 1985, vol. M, paper # M2/M1 1/7, Brussels, Belgium.
- [2] IAEA, Site Evaluation for Nuclear Installations, Safety Requirements NS-R-3 (Rev. 1), 2016, Vienna.
- [3] WENRA Reactor Safety Reference Levels, Western European Nuclear Regulators' Association, Reactor Harmonization Working Group, January 2014", also given as a reference in YVL B.7.
- [4] STUK, YVL B.7 Provisions for internal and external hazards at a nuclear facility. 2019.
- [5] OECD/NEA, Comparison of Probabilistic Seismic Hazard Analysis of Nuclear Power Plants in Areas with Different Levels of Seismic Activity NEA/CSNI/R(2019)1, 2019, Paris.
- [6] Thomas, P. & Wong, I. & Abrahamson, N. Verification of probabilistic seismic hazard analysis computer programs. PEER Report 2010/106. 2010. Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley.
- [7] Hale, C. & Abrahamson, N. & Bozorgnia, Y. Probabilistic seismic hazard analysis code verification. PEER Report No. 2018/03. 2018. Pacific Earthquake Engineering Research Center, Headquarters at the University of California, Berkeley.
- [8] <http://www.ez-frisk.com> [Last accessed 29 April 2021].
- [9] <https://platform.openquake.org> [Last accessed 15 April 2021].
- [10] Korja, A. & Kosonen, E. (Eds.). Seismotectonic framework and seismic source area models in Fennoscandia, northern Europe. Report S-63, Institute of Seismology, University of Helsinki.
- [11] Douglas, J. Earthquake ground motion estimation using strong-motion records: a review of equations for the estimation of peak ground acceleration and response spectral ordinates. *Earth-Science Reviews*. 2003, vol. 61. P. 43-104.
- [12] Goulet, C. & Bozorgnia, Y. & Abrahamson, N. & Kuehn, N. & Al Atik, L. & Youngs, R. & Graves, R. & Atkinson, G. Central and Eastern North America ground-motion characterization. NGA-East final report. PEER Report No. 2018/08. 2018. Pacific Earthquake Engineering Research Center, Headquarters at the University of California, Berkeley.
- [13] Fülöp, L. & Jussila, V. & Aapasuo, R. & Vuorinen, T. & Mäntyniemi, P. A ground-motion prediction equation for Fennoscandian nuclear installations. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2020, vol. 110:3. P. 1211-1230. Available at: <https://doi.org/10.1785/0120190230>
- [14] Rinne, L. Seismic wave attenuation and the spectral decay parameter κ (kappa) in the crystalline bedrock at Olkiluoto, SW Finland. 2021. Master's thesis, University of Helsinki.
- [15] Cornell, C. A. Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1968, vol. 58:5. P. 1583-1606.

- [16] Budnitz, R. J. & Apostolakis, G. & Boore, D. M. & Cluff, L. S. & Coppersmith, K. J. & Cornell, C. A. & Morris, P. A. Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on uncertainty and use of experts. NUREG/CR-6372 UCRL- ID – 122160. 1997, vol. 1.
- [17] Budnitz, R. J. & Apostolakis, G. & Boore, D. M. & Cluff, L. S. & Coppersmith, K. J. & Cornell, C. A. & Morris, P. A. Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on uncertainty and use of experts. Appendices. NUREG/CR-6372 UCRL- ID – 122160. 1997, vol. 2.
- [18] Hanks, T. C. & Abrahamson, N. A. & Boore, D. M. & Coppersmith, K. J. & Knepprath, N. E. Implementation of the SSHAC Guidelines for Level 3 and 4 PSHAs – experience gained from actual applications. U.S. Geological Survey Open-File Report 2009-1093. 2009, 66 pp.

Authors



Ph.D. Päivi Mäntyniemi
University Researcher
University of Helsinki
paivi.mantyniemi@helsinki.fi



M.Sc. Marianne Malm
Specialist in Seismology
AFRY Finland Ltd
marianne.malm@afry.com



M.Sc. Simon Burck
Inspector
Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK)
simon.burck@stuk.fi



D.Sc. (Tech.) Olli Okko
Senior Inspector
Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK)
olli.okko@stuk.fi



M.Sc. (Civ. eng.) Pekka Välikangas
Section Head
Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK)
pekka.valikangas@stuk.fi



D.Sc. (Tech.) Ludovic Fülöp
Principal Scientist, Project Manager
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd
ludovic.fulop@vtt.fi

Towards improved assessment of the safety performance of NPP concrete structures for LTO (ACES)

Miguel Ferreira

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.

Concrete ageing has been identified as one of the most important issues in relation to plant life management and life extension of nuclear power plants (NPPs). ACES is an EURATOM funded research project that aims at having a significant impact on the safety of operational Gen II and III NPPs and impact the design of next-generation plants. ACES will improve the understanding of ageing/deterioration of concrete and will consolidate the results in the form of assessment tools and best practice guidelines for structural assessment and ageing management of concrete structures.

Betonin ikääntymiseen liittyvät ilmiöt ovat yksi tärkeimmistä näkökohdista vanhojen ydinlaitosten käyttöön hallinnan ja pidentämisen kannalta. ACES on Euratom-tutkimusprojekti, jonka tavoitteena on varmistaa ikääntyvien II ja III sukupolven laitosten turvallinen toiminta ja luoda lisätietoa seuraavan sukupolven laitosten suunnitteluun. Projekti parantaa betonin ikääntymisen/vaurioitumisen tietämystä ja tuloksista luodaan parhaaseen käytäntöön perustuvia toimintaohjeita betonirakenteiden kunnonseurantaan ja vanhenemisen hallintaan.

ACES is based on defining carefully selected research objectives that cover the complex multidisciplinary character of structural assessment of concrete structures. In addition to assessing Ageing Management per se, the selected ageing mechanisms studied in ACES correspond to the research areas of highest gaps of knowledge and high significance for long-term operation (LTO) of NPPs. The ageing mechanism addressed are embedded liner corrosion, internal swelling reactions of concrete, creep and shrinkage of the concrete containment, and irradiated concrete performance.

The ground-breaking nature of ACES is to overcome the current excessive conservatism in the assessment methods that results from the limited understanding of the deterioration of concrete. The multidisciplinary nature of this project reflects this (see Figure 1).

In the following, for each of the main technical work packages a brief state-of-the-art (SOTA) is presented followed by the project contribution to advance beyond state-of-the-art.

Quantitative assessment of ageing management of concrete SSCs (WP1)

Several international reports review ageing management approaches and provide an overview of existing approaches [2–6]. It was found that these often lack complete and specific information regarding reinforced concrete SSCs (systems, structures and components), such as qualitative or quantitative acceptance criteria for concrete performance, or the most recent advancements in scientific knowledge and technological developments.

ACES focus is on addressing these knowledge gaps, by delivering an overview of the current state-of-the-art of ageing processes of reinforced concrete SSCs in the framework of LTO of NPPs. This includes the effect

of long-term climate change on environmental loading with the potential impact on concrete performance and synergetic effects of ageing processes under single and multiple loading conditions. Furthermore, ACES will identify how integration of monitoring techniques, experimental data, ageing models and modelling techniques can help to establish quantitative criteria for concrete performance in terms of current condition, evolution of the concrete condition, and consequences for safety.

This will result in the identification of innovative techniques for assessing the performance of concrete structures in view of LTO, and innovative methods for the definition of quantitative acceptance criteria for performance of concrete SSCs.

Corrosion assessment of embedded liners in concrete (WP2)

NPPs have numerous concrete structures with embedded steel reinforcement, barrier, and containment systems. Although concrete environment is particularly suitable for steel due to the alkaline nature that enables passivation of the steel surface, many corrosion processes take place in concrete structures, depending on the environmental conditions and geometry of the structure. It is known that main corrosion mechanism of steel liners embedded in containments is crevice corrosion.

Certain knowledge concerning crevice corrosion of specific metals under selected geometry does exist, but only for specific environments and smaller scales. There is a real lack of understanding on crevice corrosion in concrete, especially for large structures. Only scarce data concerning crevice corrosion of steel liners in containment observed in-situ are available, and almost no results related to crevice corrosion in concrete in general, have been published (see Figure 2). It is therefore essential to characterize this mechanism and evaluate the influence of specific parameters

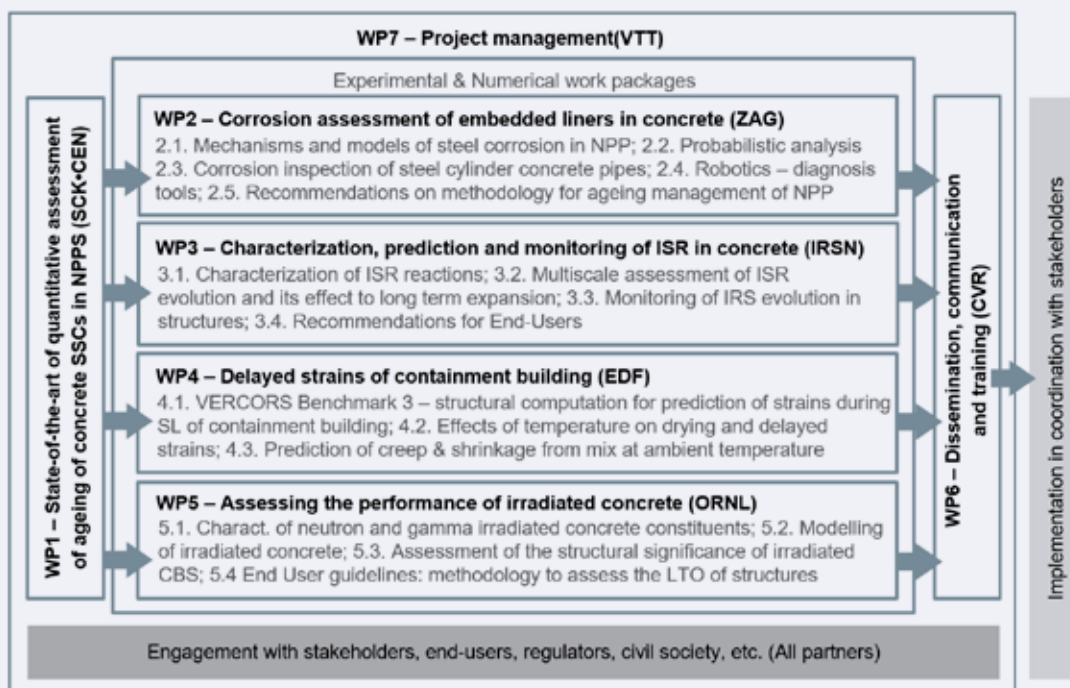


Figure 1. Schematic overall structure of the ACES research plan [1].

concerning corrosion of the containment liner. For non-accessible zones, when monitoring is not possible, modelling of such processes can predict locations and rates of corrosion. ACES will research two main aspects:

- i. special conditions leading to chloride-induced corrosion of steel cylinder concrete pipes, and
- ii. crevice corrosion of steel liner embedded in concrete of containment building.

Both aspects include steel liners fully embedded in concrete, therefore early corrosion activities are not visible and not easily monitored.

Furthermore, a robotic platform with the ability to handle suitable NDT and electrochemical techniques for corrosion inspection on the internal side of steel cylinder concrete pipes will be developed. Selected NDT and electrochemical techniques will be optimized, in order to be effectively installed at the robotic hand and measurement effectively performed by the remote control.

Finally, an innovative metamodel will be developed, describing the link between testing input variables and the corrosion rate. Using this concept corrosion specialists will build an improved physical model to judge the relevance of the input variables. In combination with probabilistic modelling, End Users will be able to predict locations and possible rates of corrosion in containment liners and along steel cylinder concrete pipes.

Characterization, prediction and monitoring of internal swelling reactions (WP3)

Internal swelling reactions (ISR) include delayed ettringite formation (DEF) and alkali-silicate reaction (ASR), and their combination. ISRs are endogenous swelling reactions, occurring from the interaction between the constituents of concrete, resulting in concrete cracking. Swelling occurs following

the use of reactive aggregates in case of ASR and/or following a significant temperature increase at concrete's early age in case of DEF. NPPs include many massive concrete structures for which a significant heating could have occurred at the early age. Most of current research focus on the individual characterisation of ISR and fail to consider other ageing phenomena. This interaction between these two phenomena is poorly documented. ACES aims to contribute through the following main actions:

- i. research the interaction mechanisms between ISR and other ageing mechanisms such as creep and shrinkage. Most of the ex-



Figure 2. Corrosion damage in the steel liner detected at Ringhals-2 [7]. Complete penetration of the liner due to corrosion is visible.

isting studies on ISR focus on isolated parameters impacting its development in concrete such as: cement chemistry, heat treatment, moisture effect etc. For instance, if we consider the case of a concrete containment, these structures are bi-axially post-tensioned to ensure the required confinement properties. This permanent compression stress state in the concrete sections leads to the development of creep and shrinkage that interacts with the development of ISR. For this reason, investigating coupled approaches is a necessity.

- ii. develop methodologies for extrapolating the long-term concrete degradation, for an existing ISR-affected structure, based on common civil engineering practices (laboratory testing) and in-situ monitoring (see Figure 3).
- iii. develop robust and advanced modelling tools allowing the simulation of the long-term behaviour of NPP affected by ISR based on a multi-scale approach.

The combined results are validated on a practical demonstration in which the impact of ISR on the overall capacity of a NPP numerical prototype is assessed. On one hand, this will support verifying the methodology and monitoring tools developed in the earlier tasks, and on the other, this practical simulation will provide technically sound recommendations that would allow for End Users to properly account for the ISR impacts in the engineering calculations of the NPP structures.

Delayed strains of containment buildings in operational and accidental conditions (WP4)

The assessment and the prediction of the condition of the concrete of containment structure as well as the state of prestress is of paramount importance to guarantee the confinement role devoted to containment structures. It is often prestressed, to ensure a permanent compression stress state in the concrete sections, thus limiting cracking during service and accidental loading conditions. Therefore, it is necessary that utilities have access to advanced computation tools and phenomenological models adapted for the prediction of the behaviour of the containments during service life and in case of an accident.

Several empirical constitutive laws are available in the literature to

simulate drying, creep and shrinkage behaviour close to ambient temperature. The main difficulty when such a constitutive law is available and properly calibrated for the concrete of the considered structure is to correctly model prestress, influence of reinforcement, drying gradients and to properly account for environmental conditions.

Ideally, concrete properties and constitutive behaviour required for the computations should therefore be inferred from concrete composition information. Several options are available in the literature, mostly of two different kinds. First, empirical models used in design codes are not based on physics but are calibrated on very large databases (limited range of properties present in the database). Second, physical models (accounting for hydration, capillary phenomena, creep phenomena inside cement paste's hydrates) are available, but of less broad applicability (since some of the underlying physical phenomena are not fully understood yet).

To ensure safe LTO, sufficient performances of concrete structures in accidental conditions also have to be proven. However, the understanding of the behaviour of concrete when exposed to high temperatures (up to 150 °C), the knowledge about the physical phenomena occurring in concrete at these temperatures and their modelling still need to be improved significantly in order to be able to perform predictive structural computations.

The expected outcomes of the ACES project on the topic of creep and shrinkage of concrete are:

- i. validation of existing constitutive laws and structural modelling approaches already used by several research units and utilities regarding the simulation of containment behaviour during operational phases;
- ii. completion of the largest database on a single concrete mix regarding drying, creep and shrinkage behaviour at ambient and elevated temperature (up to 150 °C);
- iii. proposition of a new empirical model for concrete behaviour up to 150 °C;
- iv. proposition of evolutions of the FIB Code Model to better account for multiaxial effects on creep at moderate temperature (up to 40 °C); and,
- v. validation of existing models for the prediction of concrete delayed strains from the mix.

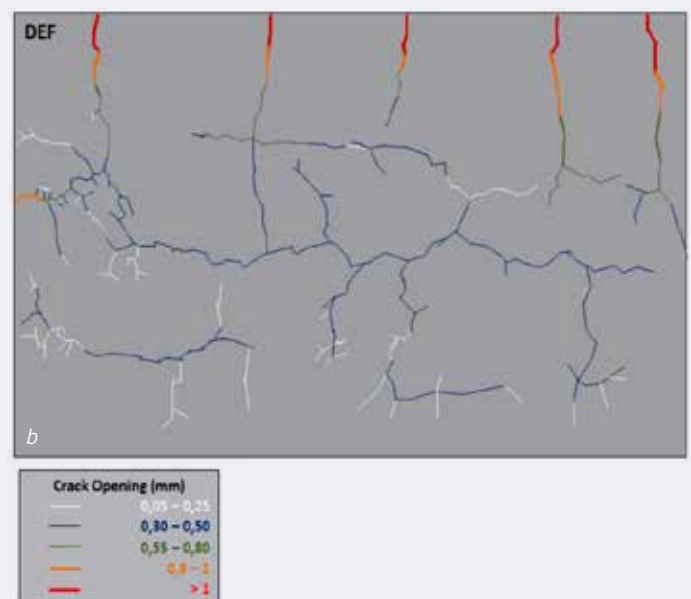


Figure 3. (a) Experiments with accelerated aging processes of mock-ups of containment structures are used to generate valuable data required for understanding ISR. (b) Crack mapping is important to understand the development of the ageing mechanism [8].

Assessing the performance of irradiated concrete (WP5)

Concrete biological shields (CBS) are exposed to high neutron and gamma irradiations, potentially reaching levels for which degradation has been reported in the literature, i.e., 5×10^{18} n/cm² at $E > 0.1$ MeV. This research topic is considered high priority in the U.S. and in Japan in the perspective of LTO. At ~40 years of operation, it is estimated that the bounding fluence approaches about 3 times the potentially critical dose for irradiation-induced damage onset.

Susceptibility of concrete to neutron irradiation greatly varies as a function of its constituents, i.e., coarse aggregates, sand, and hardened cement paste. In particular, higher irradiation-susceptibility was found as a direct function of aggregates radiation-induced volumetric expansion (RIVE), i.e., the propensity of swelling as a function of their mineral contents, structures and textures. Because the CBS structural concrete is made of ~70 % of aggregates by volume, RIVE imposes severe stresses on the surrounding hardened cement paste leading to micro-cracking, or even fracturing. Moreover, the radiation field's strong attenuation creates a strong gradient of RIVE causing high biaxial compressive elastic stresses in the vertical and hoop directions near the reactor cavity and important elastic tensile hoop stresses toward the back of the CBS.

Preliminary studies suggest that the extent of radiation-induced concrete damage (spalling) appears to be limited to a depth of about < 20 cm of the CBS, however exceeding the reinforcement depth. These studies need confirmation and the assessment of the consequences of this damage to the structural performance under seismic conditions (e.g., impact on the reactor pressure vessel (RPV) supports, or accident conditions; e.g., sudden increase of temperature in the cavity, or seismic events) still remain to be investigated. The following advances are expected to be made with ACES:

- i. i) critical data currently missing from the open literature will be created on the neutron-irradiation induced degradation of concrete aggregates relevant for European NPPs. ACES will partly fill this gap through the characterization of uniquely gamma-irradiated concrete at doses encompassing nearly $>+80$ -equivalent years of prolonged exposure in NPPs, and a selective set of representative aggregate used in European NPPs will be irradiated at fluence level of $> \sim 10^{19}$ n/cm² ($E > 0.1$ MeV). Post-irradiation examination will include dimensional change, loss of stiffness and strength. The collected data will be aggregated with the existing largest and publicly accessible database of irradiated minerals, aggregates and concrete (IMAC).
- ii. ii) by conducting, a rigorous benchmark of a large variety of modelling approaches, the capabilities and limitations of each model will be assessed and lead to thoroughly validated irradiated concrete models that are expected to serve as references for future uses by industry, regulatory bodies and code activities.

While the current assessment of the long-term irradiation of concrete biological shields mainly relies on overly conservative consideration of the exposure conditions, the main advance of this research will be to establish a rigorous structural assessment based on operational data, materials consideration and validated materials and structural models.

Expected impacts

ACES contributes to fulfil R&D knowledge gaps identified by international organizations (SNETP/NUGENIA, ENSREG, OECD/NEA/CSNI), and the EERA – JPNM road maps, to secure the safe LTO of NPPs

while maintaining the competitiveness and contribution to the carbon emission reduction of nuclear energy in the energy mix.

ACES will have a significant impact on the safety of operating Finnish NPPs by demonstrating and revealing inherent safety margins being introduced by the conservative approaches used during design and being dictated by codes and standards used through the lifetime of the plant. The outcome of ACES will support the LTO of NPPs, by using more realistic approaches for the integrity assessment of reinforced concrete SSCs and provide evidence by large scale tests.

Web: <https://aces-h2020.eu>; LinkedIn: <https://www.linkedin.com/showcase/aces-h2020>

References

- [1] ACES H2020 Project (2020) Towards improved assessment of safety performance for LTO of nuclear civil engineering structures, Description of Action. ACES Project, 70p.
- [2] IAEA, (2016) Ageing management of concrete structures in NPP. IAEA, Nuclear Energy Series, NP-T-3.5, 372 p.
- [3] IAEA, (2009) Ageing management for NPP. IAEA, Safety Guide, NS-G-2.12, 65 p.
- [4] U.S.NRC, (2014) Expanded materials degradation assessment (EMDA) - Volume 4: Ageing of concrete and civil structures. USNRC, NUREG-CR-7153, Vol. 4, ORNL/TM-2013/532, 135 p.
- [5] IAEA (2018) Ageing Management and Development of a Programme for LTO of NPP. IAEA, Safety Guide, SSG-48, 64 p.
- [6] IAEA (2013), Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants, IAEA, Safety Standards Series, SSG-25.
- [7] Isotahdon, E., Bohner, E., Huttunen-Saarivirta, E., Sistonen, S., (2019) Assessing steel liner and anchor corrosion - Task 3.1 Literature study. CONAGE Project (SAFIR 2022). VTT Research Report VTT-R-01011-19, 49 p. + app. 7 p.
- [8] Jabbour, J. (2018) Scale effect on alkali-silica reaction. Proceedings of SynerCrete'18 Int. Conf. on Interdisciplinary Approaches for Cement-based Materials and Structural Concrete, 24-26 October 2018, Funchal, Portugal.

Author



Ph.D. Miguel Ferreira

Senior Scientist, Project Manager
Coordinator of the EC H2020 – ACES Project
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.
miguel.ferreira@vtt.fi

Pro gradu: Radiumin pidättyminen kiven mineraaleihin ydinjätteen loppusijoituskontekstissa

Otto Tikkanen

Suomen ydinvoimaloiden tuottama korkea-aktiivinen käytetty ydinpolttoaine tullaan loppusijoittamaan Olkiluodon maanalaiseen loppusijoituslaitokseen. Käytetty ydinpolttoaine koostuu yhä pääosin uraani-isotopista U-238, jonka yksi radioaktiivinen hajoamistyttö on radium-226. Loppusijoituslaitoksen turvallisuusarviota varten eri jäteradionuklidien kulkeutumis- ja pidättymisominaisuudet laitosta ympäröivässä kallioperässä on tunnettava. Radiumin sorptio- eli pidättymiskäyttäytymistä biotiitti-mineraalissa tutkittiin eräkokein. Radiumin sorptio biotiittiin riippuu merkittävästi pohjaveden suolaisuudesta ja alkuainekoostumuksesta.

The highly radioactive spent nuclear fuel from the Finnish nuclear plants will be permanently disposed of in an underground repository at Olkiluoto. The spent nuclear fuel still consists mostly of the uranium isotope uranium-238. Radium-226 is a radioactive decay daughter of uranium-238. To assess the migration and retention behavior of nuclear waste borne radionuclides for the repository's safety case, sorptive retention characteristics of radium-226 were studied with batch sorption experiments. The sorption of radium on biotite depends heavily on the salinity and the chemical content of the surrounding groundwater.

Suomen ydinreaktorit tuottavat elinikänsä aikana noin 9000 tonnia käytettyä ydinpolttoainetta, joka koostuu yhä käytön jälkeenkin pääosin niukkaliukoisesta uraanioksidista ja uraani-isotoopeista U-238 ja ydinreaktioissa käyttämättä jääneestä U-235:sta [1]. Tämän lisäksi käytetyssä ydinpolttoaineessa on muun muassa uraanin fissio- ja hajoamistuotteita ja transuraaneja.

Posiva Oy:n tehtävänä on huolehtia Fortumin ja TVO:n ydinvoimaloiden tuottaman käytetyn ydinpolttoaineen turvallisesta loppusijoituksesta ja siihen liittyvästä tutkimus- ja kehitystyöstä. Osana Olkiluodon maanalaisen loppusijoituslaitoksen turvallisuusarviota, loppusijoituslaitosta ympäröivän maa- ja kallioperän geologiaa ja hydrogeologisia ominaisuuksia on tutkittu merkittävästi jo ennen laitoksen rakentamista ja loppusijoittamisen aloittamista [1,2,3]. Osana turvallisuustutkimuksia käytetyn ydinpolttoaineen sisältämien radionuklidien, kuten U-238:n hajoamistuotteen radium-226:n, kulkeutuminen ja pidättyminen laitosta ympäröivässä kallioperässä on selvitettävä.

Radium ja sen rooli käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksessa

Uraani-238:n eräät tunnetuimmista radioaktiivisista hajoamistyttöistä ovat radium-226 ja sen suora hajoamistuote, Suomessakin yleisesti tunnettu sisäilman pilaaja, radon-222. Radiumin löysivät Marie ja Pierre

Curie 1800-luvun lopulla heti radioaktiivisuuden keksimisen jälkeen. Sitten radiumin on todettu olevan radiotoksinen alkuaine, jolla ei esiinny lainkaan stabiileja isotooppeja [4,5].

Käytetyssä ydinpolttoaineessa esiintyvien erittäin pitkäikäisten radionuklidien vuoksi käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitussäiliöiden on kestävä ehjinä useita satoja tuhansia vuosia. Radium-226:n kulkeutuminen selvittäminen kallioperässä on osa loppusijoituksen hyvin kauaskantoisia turvallisuustavoitteita. Ruotsin ydinjätteen loppusijoituksesta vastaava SKB on arvioinut, että radium-226 voi olla hallitseva radioaktiivinen aine, joka aiheuttaa säteilytason nousua loppusijoitetussa käytetyssä ydinpolttoaineessa 500 000 – 1 000 000 vuotta loppusijoitussäiliön turvallisuus murtuu tulevina vuosituhansina, on radium vaarassa päästä leviämään ympäröivään kallioperään ja pohjavesiverkostoon, ja sitä kautta kohti maanpintaa ja ympäristöä.

Radium ($Z = 88$) on raskain tunnetuista maa-alkalimetalleista (Be, Mg, Ca, Sr, Ba ja Ra). Tästä johtuen sen ionisäde on suurin, kun taas sen elektronegatiivisuus on koko alkuainetaulukon pienimpien joukossa. Luonnossa radium esiintyy lähes poikkeuksetta sitoutuneena ja keraaostuneena muihin yhdisteisiin, esiintyen niukkaliukoisena karbonaattina tai sulfaattina [4].

Bariumia, toiseksi raskainta tunnetuista maa-alkalimetalleista, pidetään radiumin hyvänä kemiallisena analogina niiden fysikaalisten

ja kemiallisten yhteneväisyyksien vuoksi [5,7]. Radiumilla on samankaltaisuuksistaan johtuen taipumus osallistua ioninvaihtoreaktioihin useiden alkali- ja maa-alkalimetallien kanssa. Radium pidättyy ioninvaihtomekanismilla mineraaleihin kuten bariumkin, ja joutuu kilpailemaan pohjaveden alkuaineiden kanssa sorptiosta. Kokonsa vuoksi radium tulee herkästi muiden ionien syrjäyttämäksi ioninvaihtoreaktioissa [4,5]. Pohjaveden radium voi herkästi kersaostua esimerkiksi bariumin muodostamaan bariittiin (BaSO_4), jolloin radium saadaan pidättymään myös sakkana [5].

Olkiluodon pohjavesikemia, mineralogia ja eräkoekiden olosuhteiden valinta

Jotta radiumin sorptiokäyttäytymistä voitaisiin tutkia mahdollisimman realistisissa loppusijoitusolosuhteissa, tuli eräkoekiden olosuhteet valita tarkoituksenmukaisesti. Olosuhteet rajattiin tutkimuksiin, joissa selvitettiin radiumin sorptio biotiitti-mineraaliin neljässä eri Olkiluodon pohjavesityypissä.

Olkiluodon saari sijaitsee Eurajoella Satakunnassa, Itämeren rannikolla. Olkiluodon alueella on yhä nähtävissä viime jääkauden vaikutukset, joista kenties näkyvin on yhä käynnissä oleva maankohoaminen. Tämän lisäksi alueen geologiassa on nähtävissä muun muassa muinaisesta Litorinamerestä jääneitä merkkejä, kuten rikkipitoinen maakerros 100–300 m syvyydessä [2].

Loppusijoituslaitoksen paikkamäärytyksissä on todettu Olkiluodon kallioerän jakautuvan neljään eri pääsarjaan, joista suurimman osuuden muodostaa niin kutsuttu T-sarja kiille- ja kvartsigneiseineen ja tonaliitti-granodioriitti-graniitti-gneiseineen [2,8]. Tämän lisäksi on todettu, että valtaosa Olkiluodossa esiintyvistä kivilajeista sisältävät fyllosilikaattimineraali biotiittia: osassa kivistä biotiittia on jopa 20–30%:n pitoisuuksissa [2]. Biotiitilla on suuri ominaispinta-ala ja kationinvaihtokapasiteetti, ja tutkimuksissa on havaittu biotiitin kykenevän adsorboimaan hyvin maa-alkalimetalleja [9,10].

Olkiluodon saaren alueella on havaittu useita eri pohjavesikerroksia, jotka ovat osin muodostuneet Olkiluotoa ympäröivän meren muutoksista historian aikana. Syvällä yli 400 m syvyydessä pohjavesi on

suolaista, mutta lähempänä pintaa veden suolaisuus vähenee [11]. Pohjavesikerrokset ovat hitaassa muutoksessa, mikä johtuu maanpinnalta suotautuvasta vähäsuolaisesta uudesta pohjavedestä [11].

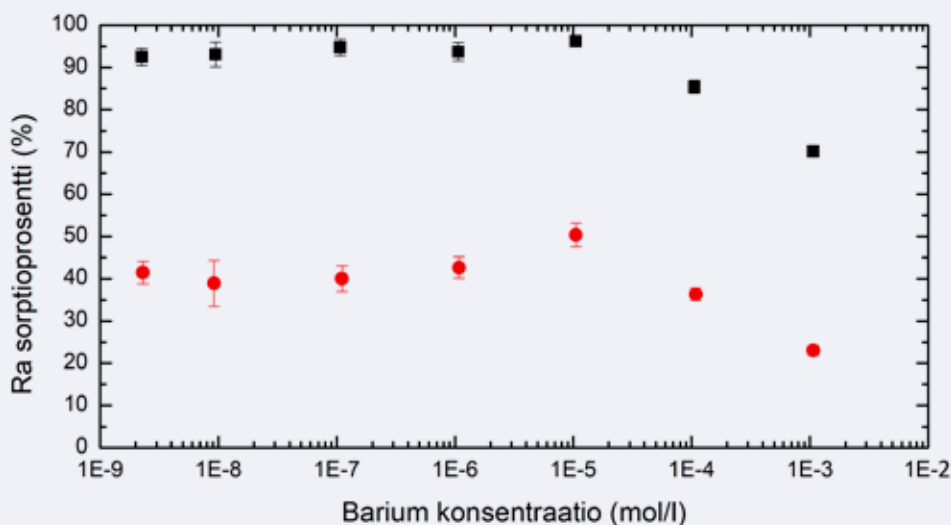
Olkiluodon vaihtelevan pohjavesikoostumuksen vuoksi myös radiumin sorptiokäyttäytymistä selvitettiin erityyppisissä pohjavesissä. Aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu veden suolapitoisuuden vaikuttavan merkittävästi maa-alkalimetallien kykyyn sorboitua biotiitin pinnalle [9,10]. Tämä johtuu siitä, että biotiitin pinnalla on vain rajallinen määrä sorptiopaikkoja, joihin pintaa lähestyvät ionit voivat sitoutua. Korkean suolapitoisuuden liuoksessa on suuri määrä ioneja, jotka kilpailevat toistensa kanssa pinnan sorptiopaikoista. Tällöin kilpailevien ionien suuren määrän ja radiumin suuren ionikoon vuoksi radiumin sorptio biotiittiin pienenee.

Sorptiokokeiden koejärjestelyt

Radiumin sorptiokokeet toteutettiin eräkoemenetelmällä, jossa biotiitinäytteitä tasapainotettiin neljässä eri pohjavedessä. Kokeet suoritettiin radiumin ja radonin säteilyturvallisuusriskin vuoksi ilmastoidussa hanskakaapissa. Kokeissa murskattu biotiitinäyte oli kolme viikkoa tasapainotuksessa synteettisissä pohjavesissä.

Tasapainotuksen jälkeen näytteisiin lisättiin noin 200 Bq Ra-226 ja vaihteleva määrä bariumkloridia. Bariumin konsentraatio eri näytteissä vaihteli välillä 10^{-3} – 10^{-9} mol/l. Alkuaineen sorptiomekanismia tutkitaan kokeellisesti määrittämällä jakaantumiskerroin alkuaineen konsentraation funktiona liuoksessa. Koska radiumin konsentraatiota ei voida sen korkean radioaktiivisuuden takia kasvattaa molaarisuudesta 10^{-9} mol/l, käytetään bariumia radiumin analogina konsentraatio-isotermin aikaansaamiseksi. Bariumia käytetään yleisesti radiumin analogina radiumia koskeissa tutkimuksissa [10], koska jo erittäin pieni määrä radiumia aiheuttaa korkean radioaktiivisuuden ja säteilyturvallisuusriskin: 10 000 Bq, STUKin asettama Ra-226 vapaaraja, vastaa n. 270 nanogrammaa puhdasta radiumia.

Toisen tasapainotuksen jälkeen näytteet sentrifugoitiin kiinteän aineen poistamiseksi liuoksesta, ja supernatantista otettiin osanäyte, jonka Ra-226 pitoisuus mitattiin germanium-gammasäteilyilmäisimellä.



Kuva 1. Radiumin sorptioprosentti biotiittiin matalasuolaisessa vedessä (mustat neliöt) ja korkeasuolaisessa vedessä (punaiset ympyrät) liuokseen lisätyn bariumin logaritmisen konsentraation funktiona.

Vertaamalla näytteen Ra-226-kokonaisaktiivisuutta ja vesiliuokseen jäänyttä Ra-226-aktiivisuutta voitiin määrittää biotiittiin pidättyneen radiumin osuus.

Tulokset ja johtopäätökset

Tutkimuksen ennusteen mukaan radium pidättyy hyvin biotiitin pinnalle erityisesti vähäsuolaisissa olosuhteissa, joissa radium ei joudu kilpailemaan suuren määrän muita ioneja kanssa biotiitin pinnan rajallisista sorptiopaikoista. Ioninvaihtomekanismin ennusteen mukaisesti sorptiokokeissa pystyttiin havaitsemaan radiumin sorption riippuvuus veden suolaisuudesta. Matalan suolaisuuden pohjavedessä radium sorboituu biotiittiin huomattavasti enemmän kuin korkean suolaisuuden pohjavedessä. Radiumin pienenevä sorptio suolaisuuden lisääntyessä on havainnollistettu kuvassa 1, jossa radiumin sorptioprocentti biotiittiin

on esitetty kahden eri luonnollisen suolaisuuden referenssipohjaveden lisätyn bariumin pitoisuuden funktiona.

Tutkimuksessa saatuja radiumin jakaantumiskertoimia käytetään hyväksi arvioitaessa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuutta. Saatuja sorptiotuloksia käytetään mallinnuksessa, jossa selvitetään alkuaineiden sorptiomekanismeja loppusijoitusolosuhteissa. Tärkeänä osana pro gradu -tutkielmaa radiumin sorptiokokeiden tuloksia käytettiin testaamaan ja kehittämään sorptiomallia PHREEQC-geokemiallisella mallinnustyökalulla. Etenemis- ja pidättymismallin avulla voidaan suunnitella ja testata loppusijoituslaitoksen turvallisuus-toimenpiteiden ja kulkeutumisehdien toimivuutta ja tehoa.

Pro gradu -työ on hyväksytty Helsingin yliopistossa päivämäärällä 8.6.2020.

Viitteet

- [1] Posiva Oy. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Synthesis 2012. Posiva Oy report 2012-12, 2012. ISBN 978-951-652-193-3.
- [2] Kärki, Aulis & Paulamäki, Seppo. Petrology of Olkiluoto. Posiva Oy report 2006-02, 2006. ISBN 951-652-143-6.
- [3] Hellä, Pirjo & Pitkänen, Petteri & Löfman, Jari & Partamies, Sami & Vuorinen, Ulla & Wersin, Paul. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Definition of Reference and Bounding Groundwaters, Buffer and Backfill Porewaters. Posiva Oy report 2014-04, 2014. ISBN 978-951-652-242-8.
- [4] Lehto, Jukka & Hou, Xiaolin. Chemistry and Analysis of Radionuclides. Weinheim: Wiley-VCH, 2011. ISBN 978-3-527-32658-7.
- [5] International Atomic Energy Agency. The environmental behaviour of radium: revised edition. Vienna: IAEA, 2014. ISBN 9789201433107.
- [6] Svensk Kärnbränslehantering AB. Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar - a first evaluation; Main Report of the SR-Can project. SKB report TR-06-09, 2006.
- [7] Matyskin, Artem. Solubility and crystal structure of radium sulfate and carbonate. PhD väitös hyväksytty Chalmers University of Technology, Göteborg, 2018. ISBN 978-91-7597-830-7.
- [8] Aaltonen, Ismo & Kosunen, Paula & Mattila, Jussi & Engström, Jon & Paananen, Markku & Paulamäki, Seppo & Front, Kai & Gehör, Seppo & Kärki, Aulis. Geology of Olkiluoto. Posiva Oy report 2016-16, 2016. ISBN 978-951-652-244-2.
- [9] Hakanen, Martti & Ervanne, Heini & Puukko, Esa. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Radionuclide Migration Parameters for the Geosphere. Posiva Oy report 2012-41, 2014. ISBN 978-951-652-221-3.
- [10] Muuri, Eveliina & Matara-aho, Minja & Puhakka, Eini & Ikonen, Jussi & Andrew, Martin & Koskinen, Lasse & Siitari-Kauppi, Marja. The sorption and diffusion of ¹³³Ba in crushed and intact granitic rocks from the Olkiluoto and Grimsel in-situ test sites. Applied Geochemistry. 2018, vol. 89, S. 138-149. ISSN 0883-2927. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.12.004>
- [11] Vieno, Timo. Groundwater salinity at Olkiluoto and its effects on a spent fuel repository. Posiva Oy report 2000-11, 2000. ISBN 951-652-097-9.

Kirjoittaja



FM Otto Tikkanen
Tohtorikoulutettava
Helsingin yliopisto
otto.tikkanen@helsinki.fi

Valehtelu on valtaa!

KORONA-AJAN PAINEEET toivat jälleen esiin politiikan raadollisuuden. Päättäjät pitävät meitä tyhminä ja valehtelevat kerran toisensa jälkeen. Estoitta valehtelevat supervaltojen ja kehittyvien maiden johtajat ovat luoneet uuden, uljaan maailman, jossa pienen Suomen johdon tuudesta poikkeaminen ei tunnu enää missään.

Meidän johtajamme eivät sentään tapata ihmisiä valtansa pönkittämiseksi tai yritä kumota demokraattista vaalia vallankaappauksella. Meillä ei vangita hankalaa kirjallisuusasiantuntijaa tai mielipiderikasta professoria ja kerrota moisen roiston yrittäneen netin keskusteluforumeilta tuntemiensa kavereiden kanssa vallankaappausta. Onneksi Suomessa päättäjät eivät yritä moisia hankkeita, koska ylin oikeudenvalltojamme saattaisi, tietysti viikon mietittyään, todeta toisinajattelijoiden teoittamisen aamunkoitteessa edellyttävän kahden kolmasosan enemmistön päätöstä eduskunnassa. Hölmöin laintulkinta esitettiin aiemmin ennen ylimmän lainvalvojamme lausuntoa, nyt se varmistuu vasta tuon lausunnon jälkeen.

Koronaviruksen rokotusten ja erilaisten rajoitusten ympärillä käytävä keskustelu muistuttaa ydinvoimasta käytyä keskustelua. Ongelma kiertyy saman asian ympärille: minkä tasoisen riskin yhteiskunta saa ottaa ja hyväksyä kansalaisten puolesta? Kansalainen voi ottaa suuria riskejä itse, mutta ei hyväksy annettua riskiä: ydinvoimaonnettomuutta tai rokotteen haittaa.

Osa meistä kieltäytyy rokotteista ja ilmaisee yhteiskunnan asettaman ja tarjoaman riskitason olevan väärä. Ydinvoimalaitospaikkakunnalta voi muuttaa pois tai tarjotun rokotteen voi jättää ottamatta. Tämä oikeus on olemassa ja on oltava olemassa vapaassa yhteiskunnassa. Emmehän rajaa terveyspalveluja tai ydin- ja tuulivoiman sähköä vain niille, jotka hyväksyvät tuotantotavan tai annetut palvelut riskeineen ja haittoineen.

Osa kansalaisten epäroinnista johtuu päättäjien tavasta puhua niin totta kuin osaavat: ”Maskien käytöstä ei ole mitään hyötyä - tutkimusten mukaan ne eivät vaikuta viruksen leviämiseen.” Fakta: meillä ei ole tarpeeksi maskeja Suomessa tai ainakaan varoja tarjota niitä ilmaiseksi kaikille. ”Toinen rokotus annetaan uusien tutkimustulosten mukaan 12 viikon kuluttua rokotuksesta.” Fakta: rokotteita on yhä rajallinen määrä ja näin

*”Mutta minun tyhmin järkeni mukaan, täytyy puumerkkini siinä löytyä laillisuuden tähden.”
Pentti Siimes Nummisuutarin Eskona Kansallisteatterissa vuonna 1959.*

saadaan nopeasti parempi kattavuus väestössä. Onneksi ydinvoima-asioissa valehtelu ja muunneltu tutkimusten totuus ovat pysyneet pääosin ydinvoiman vastustajien etuoikeutena.

Vuonna 1987 säädetty Suomen ydinenergialaki ja 1988 voimaan saatettu ydinenergia-asetus laitoivat, ydinaseita omistavia maita selkeämmin, vastuun ydinvoimalaitoksen käyttämisestä omistajalle. Ydinenergialain perustelut kiinnittivät erityistä huomiota luvanhaltijan asiantuntemukseen, käyttöhenkilöstön kelpoisuuteen ja käyttöorganisaation asianmukaisuuteen. Ajatuksena oli saada osaava omistaja hankkimaan Suomeen paras mahdollinen laitos, jota vielä viritettäisiin turvallisuuden ja käytettävyyden osalta.

Ydinlaitoshankkeen omistajalla, joka on aiheuttanut pienelle maalle ydinvoimaan liittyvät valvontatarpeet, ajateltiin olevan veltollisuus varmentaa valvontaviranomaisen riittävät resurssit ja asiantuntemus. Valvontatoiminta oli tarkoitus pitää käytännön läheisenä sekä välttää turhia laki- ja säännöskoukerointia. Viranomaisen valvonta piti kohdistaa turvallisuudelle tärkeimpiin kohteisiin – muiden osien valvonnasta huolehtisi vastuullinen luvanhaltija itse.

1970-luvun hankkeissa ajatus toimi hyvin! Omistaja tuotti rakennus-, tarkastus- ja valvontaprosessit, aikataulutettiin prosessit sekä varmisti turvallisuuden ja takasi tarvittavan laadun itse. Paperitöihin jääneitä aukkoja paikattiin 1980-luvulla laitosten jo käydessä. Voimalaitosten rakentamisen mallina toiminut Loviisan laitos ohjasi valitun laitostyyppiin turvallisemmaksi myös muissa saman toimittajan hankkeissa. Samoilla tiukoilla luvanhaltijan omilla tarkastus- ja laadunhallintamalleilla toimitettiin 1990-luvun onnistuneissa ydinvoimalaitosten modernisointi- ja tehonkorotushankkeissa.

Luvanhaltijoita on nykyisin kolme, mutta viranomaisohjeiden uudet omituisuudet ilmestyvät il-

man luvanhaltijoiden vaikutusmahdollisuuksia. Toisaalta luvanhaltijoiden osaaminen ja resurssit kapenevat. Pääomien haltijat karttavat vuosikymmeniä kestäviä hankkeita ja niiden riskejä. Ei ihme, että viranomaisohjeiden ja lupamenettelyjen sijaan keskustellaan pienistä modulaarisista reaktoreista.

Pienten reaktorien rakentamisen uskotaan katkaisevan ydinvoiman alasajon ja kykenevän kilpailemaan halvan tuulivoiman ja halpenevan aurinkovoiman kanssa. Viranomaisen uusimmat vaatimukset sopivat vain kahdenkymmenen vuoden rakentamisaikaan. Kukaan ei kerro miten rakentamisaika ja lupaprosessit oikeasti lyhenevät reaktorin koon pienentyessä. Pienet reaktorit ovat kaikki prototyyppejä!

Nykyisin alkuperäisestä ydinenergialain ajatuksesta ei ole Suomessa tietoaakaan! Omistaja ei vastaa laitoksestaan ja sen suunnittelusta vaan vastuu työnnetään sopimuksiin ja myös viranomaisen tuella laitoksen ulkomaiselle toimittajalle. Viranomaisohjeiston muutoksista ei keskustella omistajien kanssa vaan yksittäiset henkilöt tuottavat viranomaisohjeistoon Eskon puumerkinsä sinne tänne. Usein tuon puumerkin näkeminen kirjoittaa mieleen Nummisuutarin Eskoa opastamaan tarkoitettut sanat: ”Sinä klöntti, lurjus, juutas!”

Kansainvälisillä keskusteluforumeilla tilanne on ajoittain huvittava. Maat ja toimijat, jotka eivät ole tehneet varautumista ulkoihin uhkiin tai tuottaneet ratkaisuja vakavan onnettomuuden päästöjen minimoimiseen käyville laitoksilla, ovat eniten äänessä. Harvinaiset ulkoiset uhat katettiin vuosikymmeniä monissa laitoksissa vain valmistusvoimilla.

Nyt kerrotaan Fukushima jälkeisistä muutoksista ja vakavien onnettomuuksien ratkaisuista. Nuo ratkaisut alkavat samoista asioista, jotka oli tehty Suomessa pääosin jo 1990-luvulla ja suunniteltu yhdessä venäläisten kanssa myös heidän Kiinaan toimittamaansa laitokseen. Kattava luonnonilmiöihin varautuminen ei ole uusi osa ydinvoiman rakentamista.

Onneksi meillä on hankkeissamme apuna kavereita konsulttiyhtiöistä. Esimerkkinä konsulttiyhtiön juhlapäivä, jossa vuosipalkinnon sai parhaiten laskuttanut konsultti ja toimitusjohtaja onnitteli häntä.

Johtaja: ”Onneksi olkoon! Aika kuluu äkkiä, olethan ollut jo 40 vuotta yrityksessämme!”

Konsultti: ”Tässä on joku erehdys, ikäni on 40 vuotta ja olen ollut yrityksessä vain 10 vuotta.”

Johtaja: ”Kappas vain, uusi tietojärjestelmä on varmaan pettänyt – tarkistakaa asia!”

Laskentapäällikkö palaa tiedon kanssa: ”Asia selvisi! Systeemi laski erehdyksessä työvuotesi tuntilaskutuksesta, eikä työsuostuksesta.”

Ydininsinööri



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