

ATS

4|2019

Vol. 48

YDINTEKNIikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

Yleisö äänesti SYP2019:n parhaat esitykset

Kolmesta hyvin pärjänneestä esityksestä laadittiin artikkeli tähän numeroon.

Kokemuksia lissensioinnista

Ydinvoima-alan kustannustehokkuuden parantamiseksi on oltava yhteistä tahtoa ja osaamista.

Tekoälysovellukset ydinvoima-alalla

Koneoppimisen hyödyntäminen ydinvoimalaitoksen eliniänhallinnassa.

LUTHER-reaktori

LUT-yliopisto on aloittanut oman kaukolämpöreaktorin konseptisuunnittelun.



Julkaisija / Publisher

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

Johtokunta / Board

Puheenjohtaja / President

DI Tuomas Rantala
puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja / Vice President

TkT Jaakko Leppänen
jaakko.leppanen@vtt.fi

Sihteeri / Secretary General

FM Antti Rätty
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Pekka Kupiainen
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

Jäsenet / Board Members

DI Lauri Rintala
lauri.rintala@fennovoima.fi

DI Simo Saarinen
simo.saarinen@iki.fi

TkT Vesa Tanskanen
vesa.tanskanen@stressfield.fi

Toimihenkilöt / Functionaries

ATS Young Generation

DI Antti Lammela
antti.lammela@fennovoima.fi

Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

DI Henri Ormus
henri.ormus@fennovoima.fi

Women in Nuclear Finland

FM 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

DI Anna Korpinen
anna.korpinen@vtt.fi

Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

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

Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

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

Toimitussihteeri / Lay-out Editor

Katariina Korhonen
Suunnittelutoimisto Creatus
katariina@creatus.fi

Toimitus / Editorial Staff

DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@welho.com

DI Lauri Rintala
lauri.rintala@fennovoima.fi

DI Henri Loukusa
henri.loukusa@vtt.fi

FM Sophie Haapalehto
sophie.haapalehto@posiva.fi

Toimituksen yhteystiedot

ATS Ydintekniikka

c/o Anna Korpinen
PL 1000
02044 VTT
p. 040 159 1156

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 yhdysseiteenä 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.

Uusista mahdollisuuksista



KIIREEN KESKELLÄ EI JÄÄ AIKAA uuden ideoimiselle. Isot oivallukset tarvitsevat vapaata tilaa ajattelulle, sillä kuormittunut mieli ei näe käsillä olevia tehtäviä kauemmaksi. Mikäli tavoittelee uusia mahdollisuuksia, niille täytyy raivata tyhjää tilaa erityisesti silloin, kun ei edes vielä tiedä mitä tavoitella.

Ydinvoima-alalla uudet mahdollisuudet liittyvät tällä hetkellä hyvin vahvasti SMR:iin. Pienreaktorit nähdään tulevaisuuden teknologiana, joka valaa uskoa siihen, että ydinalan osajia tarvitaan muuhunkin kuin käytöstäpoistamaan käyvät laitokset ja samalla oman osaamisen tarve. Tulevaisuutta ei kuitenkaan kannattaisi rakentaa vain yhden kortin varaan, vaikka toki erilaiset SMR-teknologiat jo itsessään sisältävät lukuisia erilaisia kortteja.

Olisi tärkeää muistaa olemassa olevien laitosten merkitys hiilineutraalissa energiantuotannossa. Myös isojen laitosten ympärillä

voi nähdä potentiaalia uusiin innovaatioihin kun laajentaa näkökantaa. Monet teknologiat etenevät harppauksin: miten me saamme ne implementoitua omalle alallemme? Esimerkiksi tekoälyllä olisi varmasti lukuisia sovelluskohteita, joita emme ole vielä tulleet ajatelleeksi.

Tein jo vuosi sitten päätöksen jättää paikani vastaavana päätoimittajana. Tuolloin teimme kipeän, mutta tarpeellisen päätöksen julkaista vuoden 2018 viimeiset lehdet tuplana numerona yksissä kansissa. Se miten lehdelä menee, on suoraan verrannollinen siihen, kuinka paljon vastaava päätoimittaja pystyy työhönsä panostamaan.

Tänä vuonna aikaa on ollut hieman enemmän ja olemme onneksi saaneet kirittyä ilmentymisaikataulun kiinni. Pitkin vuotta on tullut onnistumisen tunteita ja päätös pestistä luopumisesta alkoi jo hetkittäin kaduttaa. Viisi vuotta vastaavana päätoimittajana on kuitenkin

aika, jota kukaan ei ole ylittänyt ja johon vain kaksi muuta lisäksi on yltänyt.

Olen ylpeä siitä, millainen lehdestä on tullut minun aikani. Kiitos ATS:n johtokunnalle mahdollisuudesta ja toimituskunnalle tuesta ja työstä lehden eteen. Hyvillä mielin voin siirtää vastuun seuraavalle. Lehden vastaavana päätoimittajana aloittaa Jarmo Ala-Heikkilä vuoden 2020 alusta. Minun on tullut aika siirtyä eteenpäin kohti uusia mahdollisuuksia, vaikka en vielä tiedäkään mitä ne ovat.

Anna Korpinen

Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Uusista mahdollisuuksista.....	3
Pääkirjoitus: Nuorten tulevaisuus ydinalalla on turvattu.....	4
Editorial: Youth's future in nuclear is guaranteed.....	5

Tapahtumat

SYP2019 – Suomalaisen Ydintekniikan Päivät alkavat olla perinne.....	6
--	---

Ajankohtaista

Katsaus ydinturvallisuusneuvottelukunnan historiaan ja toimintaan.....	10
--	----

Women in Nuclear Finland on aktivoitunut.....	15
---	----

Kokemukset ydinvoima-alan projektien lisensoinnista.....	19
--	----

Tiede ja tekniikka

Diplomityö: Koneoppimisen hyödyntäminen ydinvoimalaitoksen eliniänhallinnassa.....	21
<i>Herikko Pirkkalainen</i>	

Reactor core conceptual design for a scalable heating experimental reactor, LUTHER.....	25
<i>Thinh Truong, Heikki Suikkanen, Juhani Hyvärinen</i>	

Diplomityö: Todennäköisyysperusteisen seismisen hasardilaskennan herkkystarkastelu Hanhikiven laitospaikalla.....	29
<i>Janika Tang</i>	

Dissertation: Optical Stand-Off Detection of Alpha Radiation in Nuclear Facilities.....	31
<i>Thomas Kerst</i>	

Diplomityö: Loviisan polttoainesauvojen mallintaminen LOCA-olosuhteissa TRANSURANUS-ohjelmalla.....	35
<i>Olli Hyvönen</i>	

Nuorten tulevaisuus ydinalalla on turvattu

TÄTÄ KIRJOITTAESSANI ISTUN hotellihuoneessani Sosnovyi Borissa. Vuosi on tulossa päätökseensä samoin kuin minun pestini ATS YG:n puheenjohtajana. ATS YG:llä on takana hieno vuosi. Olemme tänä vuonna järjestäneet ennätysellisen isoja ja hienoja tapahtumia. En nyt kuitenkaan aio kirjoittaa menneistä vaan keskityn pohtimaan nuorten mahdollisuuksista ydinalalla tulevaisuuden Suomessa.

Tällä hetkellä elämme selkeästi jo toista ydinvoiman renessanssia (OL3:n periaatepäätöksen jälkeinen kausi oli se ensimmäinen). Tuntuu, että ydinvoimalla on mahdollisuuksia vaikka mihin. Voisi kai sanoa, että ydinvoiman ympärillä pyörii taas jonkinlainen hype. Ilmaston lämpeneminen

on alettu ottaa yhä enemmän todesta ja monet kriitikotkin ovat ymmärtäneet ydinvoiman aseman ilmastonmuutoksen torjumisessa. Mitä tämä ilmastonmuutos tarkoittaa meille nuorille? Ainakin sitä, että meidän sukupolvemme on tehtävä asialle jotain. Asia koskee juuri meitä ja meidän jälkeemme tulevia. Me olemme ne, jotka kokevat ilmaston lämpenemisen raskaat seuraukset.

Suomessa me ydinvoimantuottajat olemme eurooppalaisittain hyvässä asemassa. Meillä on neljä käynnissä olevaa reaktoria (kahta eri designia), ja kohta saadaan länsirannikolla vielä yksi EPR käyntiin. Hanhikivelle olemme kovaa vauhtia rakentamassa AES-2006 -laitosta (projekti, jossa itse työskentelen ja josta olen hyvin ylpeä). Yksi käytöstäpoistoprojekti

on alkamassa ja Olkiluodossa etenee käytetyn polttoaineen loppusijoitusprojekti ensimmäisenä maailmassa kohti käyttöönottovaihetta. Löytyy polttoaineen välivarastointia ja jätteen käsittelyä sekä ydinvoima-alan tutkimusta. Tämä ydinalan monimuotoisuus tarkoittaa, että meillä nuorilla on mielettömän paljon eri mahdollisuuksia Suomessa nyt ja tulevaisuudessa.

Sähköntuotanto Suomessa on tällä hetkellä jo varsin vihreää, kiitos ydinvoiman, vesivoiman ja tuulivoiman. Lämmöntuotannossa meillä on vielä paljon tehtävää. Edellä mainituista vain ydinvoima tarjoaa mahdollisuuksia suoraan lämmöntuotantoon. Hiilineutraaliuteen tähtäävät päätökset tuovat entistä enemmän mahdollisuuksia ydin-



Youth's future in nuclear is guaranteed

voima-alalle. Suomi on päättänyt luopua hiilen käytöstä energian tuotannossa vuonna 2029. Kaikkea ei kuitenkaan voida korvata uusiutuville, joten ydinvoima voisi olla vaihtoehto. Tässä kohtaa pienet modulaariset reaktorit, SMR:t, tulevat kuvaan. SMR:t ovat modulaarisuudestaan johtuen (ainakin teoriassa) edullisempia rakentaa sekä ”pienestä” koostaan johtuen paremmin sopivia pienempien energiankäyttökohteiden ratkaisuksi. Lämmöntuotannossa edullisuus korostuu, kun ei tarvitse välttämättä rakentaa turbiinia voimalaitoksen yhteyteen.

Sähkön kulutus on Suomessa kasvussa. Liikenteen tarvitsema sähkö lisääntyy sähköautojen yleistyessä. Teollisuuden sähkönkulutuksen kasvu on myös nähtävissä tulevaisuudessa. Datakeskukset lisääntyvät ja teollisuuden hiilenkäyttöä ollaan korvaamassa muilla menetelmillä, joista mielenkiintoisena esimerkkinä teollisuuden osalta voisi mainita SSAB:n tekemät testit hiilen korvaamiseksi vedyllä teräksen tuotannossa. Vedyn tekemiseksi tarvitaan sähköä ja sitä tarvitaan paljon.

Meille nuorille löytyy tulevaisuudessa lukemattomia työllistymismahdollisuuksia ydinalla. Eikä sinun tarvitse opiskella ydinvoimatekniikkaa tai ydinfysiikkaa työskenneläkseen ydinvoiman parissa. Ydinvoima-ala työllistää osaajia koulutuskentän laidasta laitaan: sen lisäksi että tarvitaan diplomi-insinöörejä ja insinöörejä eri tekniikan aloilta, tarvitaan myös luonnontieteitä, kauppatieteitä, käyttäytymistieteitä sekä viestintää. Jos et vielä työskentele ydinalla, muista että aikajänneet alalla ovat pitkiä, vuosi on lyhyt aika. Joten jos et heti työllisty, älä menetä uskoasi. Uusia tilaisuuksia tulee. Ole kärsivällinen.

Jos etsit mielenkiintoisia haasteita ja haluat rakentaa yhteistä parempaa tulevaisuutta – valitse ydinvoima.

(Ins.) Antti Lammela

Suomen Atomitekniillinen Seura,
Young Generationin Puheenjohtaja
Operation Manager, Fennovoima
antti.lammela@fennovoima.fi

I AM WRITING THIS FROM MY HOTEL ROOM at Sosnovyi Bor. Year 2019 is ending such like my job as president of ATS YG. This year has been a great year for ATS YG. We have organized larger and finer events than ever before. Still I won't write about the past, but I will concentrate on youth's possibilities in nuclear industry in the future Finland.

Currently we are living already the second revival of nuclear (period after the Decision-in-Principle of OL3 was the first). I feel that nuclear has possibilities for anything. I can say that there is again some kind of hype around the nuclear. Global warming is taken more and more seriously and several critics have understood the status of nuclear combating climate change. What does this climate change mean to us, young people? At least that our generation needs to do something about it. This matter concerns us all and the people coming after us. We are those who experience heavy consequences of global warming.

In Finland we nuclear youth are in a good position. We have four running reactors (two different designs) and soon we will start one EPR on west coast. At Hanhikivi we are going to start the construction of AES-2006-facility (project, where I am working and of which I am very proud). One decommissioning project is starting and at Olkiluoto the final deposition project of used nuclear fuel is proceeding to operational phase as the first in the world. You can find in Finland also intermediate storage of nuclear fuel, waste management and research on nuclear field. This diversity on the nuclear field means that we, the young generation, already have an incredible amount of possibilities in Finland now and in the future.

The production of electricity in Finland is at the moment quite green, thanks to the nuclear power, waterpower and wind power. In heat production we have still much to do. From above mentioned only nuclear power offers possibilities to direct heat production.

Carbon neutral aimed decisions bring possibilities more than before to nuclear industry. This is where small modular reactors (SMR) come to the picture. SMRs are due to their modularity (at least in theory) economical to build and due to their "small" size the most suitable for solution of smaller energy use. In heat production budget becomes more pronounced because construction of turbine in connection with a power plan is not compulsory.

Electricity consumption in Finland is increasing. The increasing amount of electrical vehicles will increase the electricity needs of transports. Also growth of industrial electricity consumption in the future is predictable. Data centers will multiply and the use of coal in industry will be replaced by other sources. Interesting example from industry is the testing conducted by SSAB:n to replace coal by hydrogen in production of steel. Production of hydrogen consumes electricity and it consumes a lot of it.

In the future there are countless employment possibilities in nuclear industry. And you don't need to study nuclear technology or nuclear physics to work in nuclear. Nuclear industry employs experts with a large range of study background, in addition to engineers, we need also people from natural sciences, economics, cognitive sciences and communications. If you don't work in nuclear yet, remember that time spans are long, a year is a short period of time. So if you don't get employed now, don't lose your faith. New opportunities will come. Be patient.

If you are looking for interesting challenges and you want to build a better future, choose to be a nuclear professional.

(Eng.) Antti Lammela

Finnish Nuclear Society,
President of Young Generation
Operation Manager, Fennovoima
antti.lammela@fennovoima.fi

SYP2019 – Suomalaisen Ydintekniikan Päivät alkavat olla perinne

ATS järjesti Suomalaisen Ydintekniikan Päivät eli SYP2019-symposiumin Helsingin Katajanokalla 30.–31.10. Konsepti oli oleellisesti sama kuin kolme vuotta aikaisemmin, sopivasti kuitenkin päivitettyinä, joten tästä näyttää tulevan seuran uusi perinne. Tieteellisten kokousten järjestämisen pitää kuulua tieteellisen seuran perustoimintaan, joten joku voisi todeta: vihdoin!

Teksti: Jarmo Ala-Heikkilä, Tuomas Rantala **Kuvat:** Jarmo Ala-Heikkilä



TkT Jarmo Ala-Heikkilä

Asiantuntija
Aalto-yliopisto, Teknillisen fysiikan laitos
jarmo.ala-heikkila@aalto.fi



DI Tuomas Rantala

ATS:n johtokunnan puheenjohtaja, Polttoainelaskenta ja reaktorinvalvonta -tiimin esimies
Teollisuuden Voima Oyj
tuomas.rantala@tvo.fi

50-VUOTISJUHLIENSA YHTEYDESSÄ vuonna 2016 ATS päätti järjestää suuren kansainvälisen teknis-tieteellisen symposiumin, ainakin kirjoittajien käsityksen mukaan ensimmäisen laatuaan. Koska järjestäjien kokemukset tapahtumasta ja osallistujien palautteet olivat vahvasti positiivisia, seuran johtokunta päätti tehdä Suomalaisen Ydintekniikan Päivistä kolmen vuoden välein toistuvan tapahtuman. Seuran vuosikokoukset vuosina 2017, 2018 ja 2019 vahvistivat päätöksen hyväksymällä johtokunnan toimintasuunnitelmat.

Tavoitellaan jäseniä ja ulkopuolisia

Suomalaisen Ydintekniikan Päivät on suunnattu seuran jäsenten lisäksi ulkopuolisille osallistujille. Tällä tavalla saadaan uudenlaista näkyvyyttä paitsi seuralle niin koko ydinenergia-alalle, mikä on tervetullutta kun pyritään herättämään ja vahvistamaan ydinvoiman renessanssia. Edellinen nousuvaihe hukkui Tohokun maanjäristystä seuranneeseen tsunamiin.

Johtokunnan harkinnan mukaan kolmen vuoden väli on järkevä näille SYP-symposiumeille. Se noudattaa ATS:n säännöissä määritettyä johtokunnan jäsenten toimikautta ja sallii perinteisten, jäsenistöle suunnattujen syysseminaarien pitämisen

kahtena vuotena kolmesta. Kolmen vuoden aikana ehtii myös tapahtua merkittävää kehitystä: SYP2019-esityksissä oli tällä kertaa painopisteinä pienet modulaariset reaktorit sekä jätehuolto, jotka molemmat ovat edistyneet konkreettisesti SYP2016:n jälkeen.

Puolentoista vuoden järjestelyt

SYP-kokoluokan tapahtuman järjestelyt on syytä aloittaa hyvissä ajoin. Työryhmän koostuminen aloitettiin jo vuoden 2018 puolivälissä. Työryhmän puheenjohtajaksi pyydettiin VTT:n reaktorianalysitiimin päällikköä Ville Tulkkaa ja tieteelliseksi puheenjohtajaksi VTT:n tutkimusprofessoria Jaakko Leppästä. Molemmat vastasivat myöntävästi. Työryhmään saatiin lisävoimia ATS:n johdokunnan jäsenistä ja toimihenkilöistä sekä SYP2016-työryhmästä, joten kenenkään karmelin selkä ei päässyt napsautamaan.

Ensimmäisiä työryhmän linjauksia olivat SYP2019:n paikka sekä tarkka ajankohta. Ajankohdaksi valikoitui useiden reunaehtoisten puristuksessa lokakuun viimeiset päivät. Paikalle oli useampia vaihtoehtoja, myös Helsingin ulkopuolella, mutta päädyttiin silti edelliskerralla hyväksi havaittuun Marina Congress Centeriin Katajanokalla.

Seuraavan SYPin työryhmälle tulee entistä haastavampi paikkavalinta, sillä yli 200 hengen symposium ei mahdu mihin tahansa. Erityisesti kun halutaan pitää rinnakkaisia istuntoja, niin tarvitaan useampi sali noin sadan hengen kapasiteetilla. Edelliskerran 180 osallistujasta kasvetiin tällä kertaa 230 osallistujaan, ja kasvu ei välttämättä loppu tähän.

Tärkeä osuutensa SYP2019:n onnistumiseksi oli luonnollisesti sponsoreilla. Tällä kertaa saimme neljä pääsponsoria: Fennovoima,



SYP2019-aktiivit Helsingin kaupungin isäntien juttusilla.

Fortum, TVO ja Westinghouse, joiden lisäksi Pohjoismainen Ydinvarauspooli toimi tilaisuuden tukijana. Näiden tukipanosten ansiosta saimme osallistumismaksuja kohtuullisemmiksi. Tässä vaiheessa voidaan huomauttaa, että SYPin taloustavoitteena on nollatulos, mikä alustavien tietojen mukaan saavutettiin.

Runsaasti ohjelmaa kahteen vuorokauteen

SYP2019 aloitettiin jo tiistai-iltana 29.10., kun Helsingin kaupunki kutsui meidät vastaanotolle kaupungintaloon Kauppatorin laidalle.

Vastaanotto oli oikein mukava, puitteet upeat ja tarjoilut maistuvia. Näytti kuitenkin siltä, että suuri osa kotimaisista SYP-osallistujista ei innostunut tästä ohjelmanumerosta, joten osallistujamäärä jäi turhan alhaiseksi.

Symposium alkoi varsinaisesti keskiviikkona 30.10. Lyhyen avauspuheenvuoron jälkeen plenaari-istunnon aloitti TEMin energiaosaston osastopäällikkö Riku Huttunen. Tämän jälkeen oli kahden pääsponsoria esitykset, kun taas kaksi muuta pääsponsoria tähdittivät iltapäivän plenaaria.

Plenaari-istuntojen välillä pidettiin teknisiä esityksiä kolmessa rinnakkaisessa ses-



Helsingin kaupungintalo juhvalaistuksessa 29.10.2019.



FinNuclearin organisoimaa messuosastoa.

siossa. Keskiviikon sessioiden otsikkoina olivat laitosten käyttö, polttoaine ja materiaalit sekä käytöstäpoisto. Torstaina teknisten sessioiden teemoiksi vaihtuivat jätehuolto, SMR-konseptit sekä yleinen ydintekniikka. Myös osa plenaariesityksistä oli teknisempiä, aiheinaan mm. opit EPR-hankkeista, uraaniresurssien riittävyys, ydintekniikka avaruudessa sekä uudet polttoaineratkaisut.

Esitysten välisillä kahvi- ja lounastauoilla oli mahdollisuus tutustua näyttelyyn, jonka järjestäjänä toimi jälleen Finnuclear. Tusinan verran alan toimijoita oli tuonut ihmisiään ja materiaalejaan tutustuttavaksi Marinan yläaulan messuosastoille. Ajatustenvaihto vaikutti varsin vilkkaalta.

SYP2019:ssä pidetyt esitykset ja niiden taustapaperit löytyvät seuran verkkosivuilta

osoitteesta <https://ats-fns.fi/en/nuclear-science-technology-symposium/proceedings-2019>.

Kokousillallinen Sipulissa

Keskiviikkoiltana juhlistettiin SYPiä illallisella ravintola Sipulin talvipuutarhassa, jonka kattoikkunasta saimme ihailia Uspenskin kated-

raalia lokakuisen yötaivaan tummuutta vasten. Syömisen ja juomisen lisäksi Sipulissa oli pari ohjelmanumeroa. Ensimmäiseksi saatiin nauraa Tomi Walamiehen standup-oivaluksille, jotka oli paikoitellen räätälöity tälle ydinvälle.

Vakavampana ohjelmanumerona oli Pekka Jauho -palkinnon jakaminen. ATS:n johtokunta perusti seuran kunniajäsenen nimeä kantavan tiedonjulkistamispalkinnon vuonna 2016 (lisätietoa ATS:n verkkosivuilla). Palkinnon myöntää johtokunta saamiensa ehdotusten pohjalta. Vuonna 2019 palkinto myönnettiin Jaakko Leppäselle mm. hänen Fysioreaktori-blogistaan, joka on lisännyt ydintekniikan ymmärrystä. Erityisesti blogin Tshernobyl-minisarjan asiavirheitä ruotivat kirjoitukset saivat runsaasti lukijoita.

Paras esitys palkittiin

Torstai-iltapäivän päätteeksi pidettiin paneelikeskustelu teemasta "What's next for nuclear energy? Meeting the needs of carbon neutral world". Keskustelun vetäjänä toimi Jorma Aurela (TEM) ja panelistei-



Riku Huttunen (TEM) avajaisistunnossa.




FinNuclearin messuosastoa kahvitaun aikaan (kuva: Ville Tulkki).

na Heidi Harle (Helen), Rasmus Pinomaa (Kemianteollisuus), Minna Tuomainen (STUK), Harri Tuomisto (Fortum) ja Paolo Venneri (USNC-Tech). Paneelissa innostuneessa mutta realistisessa hengessä pohdittiin sähköntarpeen muuttumista ja uusien ydinenergiaratkaisujen mahdollisuutta vastata muuttuvaan kysyntään.

Pienet ja modulaariset reaktorit nähtiin yleisesti hyvänä tulevaisuuden ratkaisuna, mutta lainsäädännön ja regulaation kehittäminen vaatii vielä työtä. Paneelissa oltiin yksimielisiä siitä, että nyt tämä työ on tehtävä. Myös energiantuotantopuolelle tarvitaan aktiivinen toimija, joka lähtee haastamaan lisensointia. Yksikään paneelisteista ei uskaltanut kuiten-

kaan antaa aika-arvioita uusien ydinvoimakonseptien läpimurrolle.

SYP2019:ssä järjestettiin yleisöäänestys parhaasta esityksestä. Äänestys tapahtui mobiililaitteilla ja ehdokkaina olivat kaikkien päivien aikana kuullut esitykset. Yleisön suosikiksi tiukassa äänestyksessä seuloitui Kirsi Hassinen Platom Oy:stä esityksellään ydinvoimalaitosten lisensoinnista Suomen kokemusten pohjalta. Voittaja palkittiin kunniakirjalla ja kotimaisella designilla. Kirsin laatima artikkeli esityksensä aiheesta löytyy tämän numeron Ajankohtaista-osiosta. Myös muutama muu, äänestyksessä hyvin pärjännyt esitys julkaistaan tässä lehdessä. Tunnistat nämä artikkelit SYP-logosta.

Osallistujapalautetta kerätään tätä kirjoittaessa, joten virallisia arvosanoja emme voi vielä kertoa. Kommentit ja keskustelut paikalla olivat kuitenkin hyvin positiivisia, joten kirjoittajat uskovat, että perinne on tosiaankin syntynyt ja seuraavat Suomalaisen Ydintekniikan Päivät pidetään syksyllä 2022. Linjaukset tehdään seuran tulevissa vuosikokouksissa. 



Keskittynyttä väkeä Marinan pääsalissa.



Katsaus ydinturvallisuusneuvottelukunnan historiaan ja toimintaan

Ydinturvallisuusneuvottelukunta on keskeisten ydinturvallisuusasioiden riippumaton käsittelijä, jonka tehtävänä on antaa lausuntoja pyydettyä ja oma-aloitteisesti sekä seurata alan kehtystä ja edistää kotimaista yhteistyötä.

Teksti: Lasse Reiman



TKT Lasse Reiman

Ydinturvallisuusneuvottelukunnan puheenjohtaja
lasse.reiman@pp.inet.fi

VUODEN 1987 YDINENERGIALAKIA koskevan hallituksen esityksen perusteluissa korostetaan, että ydinenergian käytön turvallisuusnäkökohtien keskeisen merkityksen vuoksi on välttämätöntä, että viranomaisten toiminnan tueksi perustetaan erillinen asiantuntijaelin. Ydinenergialaki julkaistiin kokonaan uudistettuna vuonna 1987 (11.12.1987) ja lain 56§ käsitteli, kuten nykyisinkin, neuvottelukuntia. Sen mukaan ydinenergian käytön turvallisuutta koskevien asioiden alustavaa käsittelyä varten toimii Säteilyturvakeskuksen yhteydessä valtioneuvoston asettama neuvottelukunta. Asetuksella ydinturvallisuusneuvottelukunnasta (12.12.1988) säädettiin tämän uuden

neuvottelukunnan tehtävät, jotka ovat nykyisinkin lähes ennallaan, ja joihin palaan tässä artikkelissa myöhemmin.

Lain perusteluissa ”erillinen” viittaa vanhasta atomienergieneuvottelukunnasta erilliseen uuteen elimeen. Atomienergieneuvottelukunta perustettiin vuonna 1958 ja vuoden 1987 ydinenergialain pohjalta perustettiin sen työtä jatkamaan ydinenergieneuvottelukunta, joka on sittemmin lopeutettu. Atomienergieneuvottelukunta samoin kuin ydinenergieneuvottelukunta toimivat ministeriön yhteydessä (KTM, TEM). Niiden molempien tehtäviin kuului ydinenergia-alan kehityksen seuraaminen ja siihen liittyen aloitteiden ja ehdotusten tekeminen toi-

Edellisen neuvottelukunnan vierailu Olkiluoto 3-laitosyksikölle syksyllä 2017. Kolmantena oikealta neuvottelukunnan silloinen puheenjohtaja Seppo Vuori.

menpiteistä, joihin ydinenergia-alalla olisi ryhdyttävä. Atomienergieneuvottelukunnan tehtävissä viitataan suoraan maan yleiseen energiatilanteeseen. Molempien neuvottelukuntien tehtäviin kuului erityisesti ehdotuksien tekeminen koulutuksen ja tutkimuksen järjestämiseksi. Neuvottelukunnissa oli mukana ministeriöiden, teollisuuden ja voimayhtiöiden edustajia ja molempien yhteydessä toimi jaostoja.

Nykyisin korostetaan ydinturvallisuusneuvottelukunnan (YTN) roolia keskeisten ydinturvallisuusasioiden sekä STUKista että voimayhtiöistä riippumattomana käsittelijänä ja lausunnonantajana. Teollisuus ja voimayhtiöt eivät ole mukana neuvottelukunnassa, mutta voimayhtiöitä voidaan kuulla kokouksissa käsiteltäviin asioihin liittyen. YTN:n rooli on neuvoo-antava, se ei tee mitään päätöksiä.

YTN:n käynnistävä kokous pidettiin 5.4.1988. Neuvottelukunnan ensimmäinen puheenjohtaja oli VTT:n tutkimusjohtaja Jarl Forstén. Neuvottelukunta piti tarpeellisenä perustaa jaostoja ja jotta niissä voitaisiin käyttää jäsenenä (ei puheenjohtajana) neuvottelukunnan ulkopuolisia henkilöitä, asetusta neuvottelukunnasta piti muuttaa (16.6.1989). YTN päätti asettaa kolme jaostoa: reaktoriturvallisuuksijaosto, ydinjätejaosto sekä valmius- ja ydinmateriaalijaosto. Jaostojen tarvetta YTN perusteli pöytäkirjassaan tehtävälleen laajuudella sekä vaatimuksilla monipuolisesta asiantuntemuksesta ja syvällisestä käsitte-lystä. Jaostojen työn käynnistyttyä ne tekivät valmistelemaa työtä YTN:lle esimerkiksi lupahakemusten käsittelyn yhteydessä. Jaostot toimivat YTN:n työskentelyyn mukaan paljon YTN:n

Ydinturvallisuussäännöstö (useita lausuntoja)

Ydinenergiain muutosehdotukseen liittyen neuvottelukunta totesi lausunnonsaan (10.4.2017) muun muassa, että sijaintipaikan hyväksyminen tapahtuu käytännössä pitkälti jo periaatepäätös-vaiheessa. Muodollisesti sijoituspaikasta johtuvat suunnitteluperusteet vahvistuvat vasta, kun valtioneuvosto myöntää ydinlaitokselle rakentamislupa, mikä on käytännössä hyvin myöhään. YTN ehdotti lausunnonaan, että TEM ja STUK yhteistyössä muiden toimijoiden kanssa tarkastelisivat lähivuosina vielä uudelleen, mitä lakimuutoksia tarvitaan sijaintipaikkavaihtoehtojen hyväksymiskäsittelyn ongelmien poistamiseen.

Ohjetta YVL B.1 koskevassa lausunnonsaan (21.11.2018) YTN totesi, että ohjeen vaatimukset edellyttävät periaatepäätöksen hakijan toimittavan STUKille kohtalaisen yksityiskohtaista tietoa laitosvaihtoehtojen teknisistä ratkaisuista ja niiden perusteluista. Ydinenergiain periaatepäätösmenettelyn tarkoitus ei ole laitosvaihtoehtojen tekninen arviointi. YTN:n mielestä laitosvaihtoehtojen tekniselle arvioinnille tulisi löytää prosessissa muu kohta kuin periaatepäätös-vaihe.

ulkopuolisia asiantuntijoita, mikä osaltaan lisäsi YTN:n toiminnan tuntemusta asiantuntijapiireissä.

Jaostojen kansainvälistyminen

Vuonna 2009, kun sen hetkisen YTN:n toimikausi oli päättymässä, STUKin johdon parissa käytiin keskusteluja siitä, että seuraavan neuvottelukunnan työhön pitäisi saada kytkettyä ulkomaisia ydinturvallisuusasiantuntijoita, erityisesti viranomaisorganisaatioista. Toisaalta YTN:llä on käsiteltävänä paljon sellaisia asioita, jotka edellyttävät käsitteilyä suomen kielellä (esimerkiksi lausunnot lupahakemuksista ja turvallisuussäännöstöstä).

Keskusteluissa päädyttiin siihen, että uudella neuvottelukunnalla olisi kaksi jaostoa (reaktoriturvallisuus ja ydinjätteet), joissa pääosa jäsenistä olisi ulkomaisia asiantuntijoita. Näiden jaostojen käsiteltäväksi vietäisiin erikseen harkittavat periaatteelliset, merkittävät turvallisuusasiat. YTN valmistelisi itse kannanottonsa lupa-asioihin, turvallisuussäännöstöön ja muihin käsiteltäviin asioihin. Uusi neuvot-

Neuvottelukunnassa käydyissä keskusteluissa STUK totesi että sitä, miten laitosvaihtoehtojen tekniset ratkaisut täyttävät suomalaiset turvallisuusvaatimukset periaatteellisella tasolla ja miten vaatimukset luvitusdokumentaatiolle täyttyvät, tulisi käsitellä luvanhakijan ja laitostoimittajakandidaattien kanssa hyvissä ajoin ennen rakentamislupavaihetta. Tällä hetkellä tämä tehdään periaatepäätös-vaiheessa ja voimayhtiöiden mahdollisesti tekemässä laitosvaihtoehtojen soveltuvuusarvioinnissa, joka ei ole toteutunut kaikissa projekteissa riittävällä tavalla valitun laitosvaihtoehdon osalta. Tästä asiasta pitää keskustella laajasti ennen kuin vaatimus YVL-ohjeesta kokonaan poistetaan. Sopiva yhteys tälle on ydinenergiain kokonaisuudistus. Vastaava lausunto tehtiin koskien ohjetta YVL A.1 ja sen liitettä A (17.2.2019).

YTN on YVL-ohjeita koskevissa lausunnoissaan kiinnittänyt huomiota muun muassa ohjeiden liitteiden käyttöön, erityisesti siihen, että perusvaatimukset esitetään ohjeessa ja että ohjeesta on selkeät viittaukset liitteisiin, kun liitteissä esitetään ohjeen vaatimuksia tarkentavia asioita.

telukunta päätti joulukuussa 2009 perustaa edellä mainitut kaksi jaostoa. Uudet jaostot aloittivat toimintansa vuonna 2010. Jaostojen kokousten keskustelukieli on siitä lähtien ollut englanti ja jaostojen pöytäkirjat on kirjoitettu englanniksi.

Vuonna 2010 perustetuissa kansainvälisissä jaostoissa oli vielä jäsenenä mukana useita YTN:n jäseniä. Jaostojen kokoonpano on sen jälkeen muuttunut siten, että nykyisin puheenjohtajaa lukuun ottamatta jäsenet ovat kansainvälisiä asiantuntijoita. Asetuksen mukaan jaoston puheenjohtajan tulee olla YTN:n jäsen. Reaktoriturvallisuuksijaoston puheenjohtaja on nykyisin Timo Vanttola ja ydinjätejaoston Timo Äikäs. STUK käyttää jaostoja hakeakseen kansainvälistä näkemystä valitsemistaan erityisaiheista, mutta myös YTN ehdottaa käsiteltäviä aiheita. Jaoston puheenjohtaja raportoi jaostojen kokouksista YTN:lle ja YTN voi ottaa kantaa jaoston johdopäätöksiin koskien tarvittavia toimenpiteitä. YTN:n jäsenet voivat halutessaan osallistua jaostojen kokouksiin, mutta näin tapahtuu käytännössä vain harvoin.



Philippe Jamet esittelee ranskalaisia käytäntöjä edellisen reaktoriturvallisuusjaoston kokouksessa. Pöydän päässä jaoston silloinen puheenjohtaja Lasse Reiman.

Vastaavia komiteoita ulkomailla

YTN:n tyyppisiä komiteoita on useissa maissa. Ne eroavat toisistaan juridisen perustan, tehtävien laajuuden, nimitystavan, kansainvälisen osallistumisen ja toiminnan julkisuuden osalta.

Ruotsissa on erilliset komiteat reaktoriturvallisuudelle ja ydinjätteille sekä oma komiteansa tutkimustoimintaa varten. SSM (strålsäkerhetsmyndigheten) nimittää komiteat itse ja johtaa niiden työtä. Komiteoiden lausuntoja ei julkaista, mutta ainakin RSN:n (reaktorsäkerhetsnämnd) kokousten pöytäkirjat jaetaan teollisuudelle. Komiteat käyttävät ruotsin kieltä ja niissä on myös suomalaisia jäseniä.

Sveitsissä on ydinenergiakiin ja –asetukseen perustuva saksan kieltä käyttävä komitea (KNS, Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit), jolla on kolmen hengen sihteeristö. Komitea raportoi toiminnastaan vuosittain asianosaiselle ministeriölle. Komitean lausunnot julkaistaan.

Ranskassa viranomaisen tukena on seitsemän komiteaa, joista yksi on reaktoriturvallisuutta varten (GPR, Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires). Se on laaja ja vaikutusvaltainen pääasiassa ranskan kieltä käyttävä komitea, johon kuuluu myös

ulkomaisia jäseniä, mukaan lukien Suomesta. Komitean toiminta on julkista.

USA:ssa on atomienergiain pohjalta perustettu komitea (ACRS, Advisory Committee on Reactor Safeguards), joka on NRC:n komission nimittämä, mutta riippumaton sen henkilökunnasta. Komitean työ on hyvin julkista, jopa useimmat sen kokoukset ovat avoimia yleisölle.

Neuvottelukunnan toimintatavat

Asetus YTN:stä päivitettiin vuonna 2016. Neuvottelukunnalla on asetukseen perustuva ja sitä tarkentava työjärjestys, johon nykyiset toimintatavat perustuvat.

YTN:n tehtäviä ovat vuoden 2016 asetuksen mukaisesti

1. antaa lausuntoja ydinlaitosten rakentamista ja käyttöä koskevista lupahakemuksista sekä muista merkittävistä ydinenergian käyttöä koskevista hakemuksista
2. antaa lausuntoja Säteilyturvakeskuksen ja muiden viranomaisten valmistelemissä ydinenergian käytön turvallisuutta koskevista säännöksistä, määräyksistä ja ohjeista
3. antaa lausuntoja ydinenergian käytön turvallisuuden valvonnan kannalta merkittävistä asioista
4. seurata ydinenergian käytön turvallisuuden kehitystä sekä alan tutkimusta
5. edistää ydinenergian käytön turvallisuutta koskevaa kotimaista yhteistyötä sekä seurata kansainvälistä yhteistyötä
6. tehdä toimivaltaisille viranomaisille aloitteita ydinenergian käytön turvallisuutta koskeviksi tarpeellisiksi toimenpiteiksi.

Valtioneuvosto nimittää neuvottelukunnan puheenjohtajan, varapuheenjohtajan ja enintään viisi muuta jäsentä kolmeksi vuodeksi kerrallaan. Asetuksen mukaan neuvottelukunnan jäseniksi nimitettävien on edustettava korkeatasoista ydinturvallisuusalan asiantuntemusta. Nykyisen neuvottelukunnan asettamis päätöksen mukaan (TEM, 23.11.2018) neuvottelukunnan jäsenillä ”ei saa olla riippuvuuksia käsiteltäväksi tulevien asioiden lupakysymyksiin tai muihin lausuttaviin asioihin”. Neuvottelukunnan pysyvänä asiantuntijana toimii Säteilyturvakeskuksen pääjohtaja. Neuvottelukunnan nimityksen valmistelee TEM. STUK määrää neuvottelukunnalle sivutoimisen sihteerin neuvottelukuntaa kuultuaan. Neuvottelukunnan sihteerinä on nykyisin Karin Rantamäki.

OL3-käyttölupahakemusta koskeva lausunto, 28.11.2018

Olkiluoto 3 -laitosyksikön käyttölupahakemusta koskeneessa lausunnossaan YTN kiinnitti huomiota siihen, että STUK on sisällyttänyt turvallisuusarvioonsa neuvottelukunnan ehdotuksesta katsauksen, miten ydinvoimalaitosten turvallisuutta koskevat valtioneuvoston päätökset vuodelta 1991 ja myöhemmin valtioneuvoston asetukset muuttuivat OL3-projektin aikana. STUKin määräykset korvaavat nämä aiemmat valtioneuvoston asetukset. YTN katsoi, että tällainen katsaus on hyödyllinen ja selkeyttää pakollisten määräysten muuttumista projektin aikana. STUKin turvallisuusarviossa maini-

taan, että rakentamisen aikana on tullut esiin useita merkittäviä laatuongelmia, jotka ovat johtaneet laajoihin selvityksiin ongelmien syistä sekä mittaviin korjaustoimenpiteisiin. Esitettyä kuvausta on täsmennetty turvallisuusarviossa, ainakin osittain YTN:n kommenttien johdosta, ja YTN:n käsityksen mukaan STUKin turvallisuusarvio kuvaa nyt hyvin rakentamisen aikaisia laatuongelmia ja niiden välttämiseksi tehtyjä toimenpiteitä. Tämä lausunto on esimerkki STUKin ja YTN:n lausuntojen valmistelun aikaisesta vuorovaikutuksesta.

YTN antaa siltä pyydettyjä lausuntoja, jotka määritellään asetuksessa. Lausuntojen valmistelun yhteydessä neuvottelukunta kuulee paitsi STUKin asiantuntijoita myös luvanhakijan asiantuntijoita neuvottelukunnan määrittelemistä asioista. Neuvottelukunta voi myös antaa oma-aloitteisesti lausuntoja tai tehdä aloitteita toimivaltaisille viranomaisille. Oheisista esimerkeistä SMR-aloite on tehty oma-aloitteisesti.

Kansainvälisten jaostojen perustaminen on muuttanut YTN:n oman työn luonnetta, koska nykyisin neuvottelukunta itse valmistelee kaikki lausuntonsa ilman jaostojen apua. Neuvottelukunnan resurssit huomioon ottaen tämä voi olla ongelmallista, jos samanaikaisesti on valmisteltavana useita lausuntoja. Laajojen lupahakemusten yhteydessä neuvottelukunta arvioi erityisesti STUKin hakemuksesta tekemää turvallisuusarviota ja STUKin lausuntoa. Tämän lisäksi neuvottelukunta perehtyy itse valitsemiinsa asiakokonaisuuksiin, mutta ei tee itse kattavaa turvallisuusarviota.

Käytännössä YTN nimeää lausunnoille valmistelijan, joka laatii lausuntoluonnoksen muiden jäsenten kommentit huomioon ottaen. Jäsenet perehtyvät käsiteltävään asiaan ensi sijassa oman asiantuntemusalueensa osalta. Valmiin lausunnon allekirjoittavat puheenjohtaja ja lausunnon valmistelija. Aikaisemmin, kun neuvottelukunnan kotimaiset jaostot avustivat neuvottelukuntaa lausuntojen valmistelussa, lausunnot olivat laajempia ja osin kuvailevia. Nykyisin lausunnot eivät ole kaiken kattavia eikä niissä ole laajaa kuvailevaa osuutta, vaan lausunnot keskittyvät neuvottelukunnan valitsemiin oleellisiin asiakokonaisuuksiin.

Yksi YTN:n tehtävistä on edistää ydinenergian käytön turvallisuutta koskevaa kotimaista yhteistyötä. Tätä työtä neuvottelukunta on tehnyt osallistumalla vuosittaisten ydinturvallisuusseminaarien järjestämiseen yhdessä TEMin ja STUKin kanssa. Neuvottelukunnassa on pohdittu puolen päivän seminaarin kehittämistä koko päivän neuvottelupäivien suuntaan (vrt. säteilyturvallisuuspäivät) ja osallistumisen laajentamista STUKin ja voimayhtiöiden asiantuntijoiden suuntaan. Kansainvälisen yhteistyön seuraamisen osalta keskeistä tällä hetkellä on SMR:iä koskevien turvallisuusvaatimusten ja lisensointiprosessien kehittymisen seuraaminen. Kukin jäsen seuraa erityisesti oman alansa kehitystä.

Neuvottelukunnan työn laajuutta kuvaa se, että edellisen toimikautensa aikana (1.12.2015–30.11.2018) neuvottelukunta antoi yhteensä 26 lausuntoa, piti 17 kokous-

FiR 1 -käyttölupahakemusta koskeva lausunto, 7.3.2019

Espoon Otaniemessä sijaitseva FiR 1 -tutkimusreaktori, joka on Triga-tyyppinen 250 kW:n allasreaktori, on otettu käyttöön vuonna 1962. FiR 1:llä on voimassa normaalin käytön kattava käyttölupa vuoteen 2023. Luvanhaltija, Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy (VTT), on vuonna 2012 päättänyt lopettaa reaktorin käytön, sulkenut reaktorin lopullisesti vuonna 2015 ja hakenut vuonna 2017 uutta käyttölupaa, jossa käyttölupa rajattaisiin koskemaan reaktorin käytöstäpoistoon ja jätehuoltoon liittyviä VTT:n toimenpiteitä. VTT hakee uutta käyttölupaa vuoteen 2038 asti, ja pyytää samalla nykyisen käyttöluvan raukeamista.

Lausunnossaan STUK toteaa, että "...VTT:n esittämät suunnitelmat käytöstäpoiston ydinjätehuollon osalta eivät ole riittävän valmiita ja yksityiskohtaisia varmistamaan syntyvien ydinjätteiden turvallista ja sujuvaa välivarastointia ja loppusijoitusta. Koska ydinjätehuollon YEL 20 §:n 1 momentin kohdan 2 mukaisen ydinjätehuollon järjestelyiden arviointi kuuluu kokonaisuutena TEMin tehtäviin (YEL 29 §, YEA 74§), esittää STUK, että TEM harkitsisi lupaehdon asettamista ydinjätehuollon järjestelyjen varmistamiseksi

si ennen tutkimusreaktorin purkamisen aloittamista."

Lausunnossaan YTN on painokkaasti samaa mieltä STUKin kanssa: TEMin tulisi asettaa lupaehto, jonka mukaan ydinjätehuollon järjestelyt on suunniteltava itse tai sovittava muiden alan toimijoiden kanssa sitovin toteutus sopimuksin (ei pelkätään esi- eikä puitesopimuksin) ennen tutkimusreaktorin purkamisen aloittamista.

YTN toteaa lausunnossaan, että FiR 1 -reaktorin käytöstäpoistoon liittyvissä jätehuollon menettelyissä ja aikatauluissa on epätavallisen suuria epävarmuuksia ja avoimia kysymyksiä. Käyttölupakäsittelyyn on kuitenkin tarkoituksenmukaista ryhtyä sen varmistamiseksi, että avoimet kysymykset ratkaistaan ja epävarmuuksia pienennetään. YTN toteaa samalla, että käytöstäpoiston viivästyminen VTT:n esittämästä aikataulusta on mahdollista, jopa todennäköistä. Viivästys kasvattaisi käytöstäpoiston kustannuksia. YTN katsoo myös, että viivästys saattaisi vaarantaa turvallisen välivarastoinnin reaktorin nykyisessä tilassa, koska VTT:n resurssit ylläpitää purkuvalmiutta väistämättä huononevat ajan kuluessa henkilöstön vaihtumisen ja organisaation ohuuden takia.

Terrafamen uraanin tuotantoa koskeva lausunto, 29.5.2019

Terrafame Oy on hakenut lupaa uraanituotantoon, jossa metallitehtaan uutto-prosessiin kytketään erillinen uraanituotantolaitos (talteenottolaitos). Uraanin talteenottolaitoksella uraani erotetaan prosessiliuksesta kemiallisesti nesteuutolla ja prosessiliuos palautetaan sen jälkeen takaisin metallitehtaalalle, missä sen käsitellään jatkua samaan tapaan kuin ilman uraanituotantoa. Jos uraani erotetaan prosessiliuksesta, kaivoksen jätesakkoihin ja malmikasoihin jää uraania merkittävästi vähemmän kuin nykytilassa. Terrafamen työ- ja elinkeinoministeriölle jättämän hakemuksen mukaan vuotuinen uraanituotanto olisi enintään noin 250 tonnia vuodessa. YTN totesi lausunnossaan että kaivoksen

uraanipitoisuudet ovat hyvin matalia, samoin arvioidut annokset kaivoksen ja talteenottolaitoksen henkilökunnalle sekä väestölle.

YTN:n näkemyksen mukaan on hyvä, että STUK lausunnossaan ottaa kantaa uraanin ja uraaniin liittyvän säteilyn vähämerkityksellisyyteen huomioiden kaivostoinnin muut pitkäaikaiset ympäristövaikutukset. YTN korosti lausunnossaan, että uraanituotannon vaikutuksesta kaivoksen jättekivikasoihin ja kipsisakkoihin päätyisi lopulta merkittävästi vähemmän uraania kuin ilman uraanituotantoa. YTN näkee uraanin talteenoton säteilyuojelun yleisen oikeutusperiaatteen mukaiseksi eli talteenoton hyödyt selvästi haittoja merkittävämmiksi.

ta ja vieraili sekä Loviisan että Olkiluodon voimalaitoksilla. Lausuntojen määrä sisältää YVL-ohjeita koskevat lausunnot, mutta monet näistä lausunnoista koskivat useamman ohjeen käsittäviä YVL-ohjeryhmiä.

YTN:n toiminnan julkisuus ja avoimuus


Edellisen ja nykyisen YTN:n aikana on korostettu neuvottelukunnan toiminnan julkisuutta. Sekä neuvottelukunnan että sen jaostojen pöytäkirjat ovat julkisia ja vuoden 2017 toisesta kokouksesta alkaen pöytäkirjat on julkaistu STUKin ulkoisilla sivuilla olevalla YTN-sivulla sen jälkeen, kun ne on hyväksytty seuraavassa kokouksessa. Myös ulkomaisten jaostojen pöytäkirjat julkaistaan samassa paikassa. Neuvottelukunnan lupalausunnot menevät TEMille STUKin lausunnon liitteenä ja ne julkistetaan siinä yhteydessä. Muita neuvottelukunnan launustoja ei ole toistaiseksi aktiivisesti julkistettu, vaikka nekin ovat julkisia. Neuvottelukunta on päättänyt alkaa julkistaa

kaikki lausuntonsa. Launustojen julkistaminen pöytäkirjojen julkistamisen lisäksi edistää neuvottelukunnan toiminnan avoimuutta ja YTN:n toiminnan näkyvyyttä.

YTN on keskustellut STUKin kanssa siitä, miten neuvottelukunnan esiin nostamat asiat sekä lopullisissa launustossaan esittämät huomautukset otetaan huomioon STUKissa. Neuvottelukunta on toivonut, että sen esittämien huomautusten huomioon ottaminen olisi läpinäkyvämpää ja jäljitettävämpää. YTN:n launustossaan esittämät huomautukset käsitellään mahdollisuuksien mukaan seuraavassa kokouksessa ja kootusti vuosittain. Jos neuvottelukunnan esittämiä näkökohtia ei haluta huomioida, tulisi siitä esittää perustelut. Käytännössä olen havainnut, että STUKin johdanto kuuntelee tarkalla korvalla neuvottelukunnan näkemyksiä.

Tuleva toiminta

YTN:n menossa olevalla toimikaudella (1.12.2018–30.11.2021) sille mahdollises-

ti tulee launustopyyntöjä liittyen ydinlaitosten elinkaaren sääntelyn kehittämiseen, jota varten TEM on asettanut työryhmän. STUKin uuden strategian toimeenpanoon liittyen neuvottelukunta keskustelee STUKin määräysten ja YVL-ohjeiden kehittämisprosessista ja STUKin valvonnan kohdentamisesta. Käynnissä olevan YVL-ohjeiden päivityskierroksen osalta tulee neuvottelukunnalle vielä joitakin launustopyyntöjä. Olkiluoto 3 -laitosyksikön koekäyttöön ja mahdollisiin muutoksiin liittyviä asioita saattaa tulla launustolle samoin kuin toimikauden loppupuolella Loviisan laitoksen tulevaan määräaikaiseen turvallisuusarvioon liittyviä asioita. Fennovoiman FH1-yksikön rakentamislupahakemukseen liittyviä asioita saattaa tulla käsiteltyyn kauden lopulla. Kansainvälisiin sopimuksiin laadittavia maa-arviointiraportteja tulee neuvottelukuntaan launustolle tämän toimikauden aikana. Neuvottelukunta seuraa ydinenergia-alalla tapahtuvaa kehitystä kotimaassa ja ulkomailla ja osallistuu ydinturvallisuusseminaarien järjestelyihin aikaisempien käytäntöjen mukaisesti. 

SMR-aloite, 9.10.2019

Kuten neuvottelukunnan tehtävistä todettiin, neuvottelukunnalla on sitä koskevan asetuksen mukaan mahdollisuus tehdä aloitteita ydinenergian käytön turvallisuutta koskeviksi tarpeelliseksi toimenpiteiksi. Tähän perustuen neuvottelukunta on tehnyt aloitteen koskien pieniin modulaarisiiin reaktoreihin (SMR) varautumista Suomessa. Ydinturvallisuusneuvottelukunta katsoo, että tällainen aloite on nyt tarpeen, koska useissa maissa harkitaan SMR:ien käyttöä ja Suomessa niitä on ehdotettu eräiden kaupunkien kaukolämmön tuotantoon. Suomalainen ydinvoimalaitosten lisensiointimalli ja säännöstö on tehty ensi sijassa suuren kevytvesijäähdytteisen ydinvoimalaitoksen rakentamista ajatellen. Sama tilanne koskee IAEA:n säännöstöä. STUKin määräyksissä on vaatimuksia, jotka sellaisenaan eivät sovellu SMR:ille, varsinkaan kaukolämmön tuotantoon tarkoitetuille laiteille.

Nykyisessä ydinenergiailaissa tai muussa säännöstössä ei ole määritelty selvää erillistä prosessia, millä laitospaikka voitaisiin todeta ydinvoimalaitoskäyttöön soveltuvaaksi. Muodollisesti sijoituspaikasta johtu-

vat suunnitteluperusteet vahvistuvat vasta, kun valtioneuvosto myöntää ydinlaitokselle rakentamisluvan, mikä on käytännössä hyvin myöhään. Sijaintipaikan hyväksyminen ”de facto” tapahtuu nykyisin pitkälti jo periaatepäätösvaiheessa. YTN:n mielestä laitoksen sijoituspaikan luvitus tulisi lisätä ydinenergialakiin erillisenä prosessina.

Ydinenergiailain periaatepäätösmentely tarkoitus ei ole alun perin ollut laitosvaihtoehtojen tekninen arviointi. YTN:n mielestä laitosvaihtoehtojen tekniselle arvioinnille tulisi löytää prosessissa muu kohta kuin periaatepäätösvaihe. Tätä varten olisi lainsäädännössä tehtävä mahdolliseksi laitoksen suunnittelun ennakkohyväksyntä, niin sanottu design certification-prosessi.

Erityiskysymys on, millä edellytyksillä ydinvoimalaitosten nykyisiä suojavyöhykkeitä voisi olla mahdollista pienentää kaukolämmön tuotantoon tarkoitettujen laitosten sijoittamiseksi lähemmäksi asutuskeskuksia. Jos pystytään osoittamaan, että väestönsuojelutoimenpiteitä edellyttävä radioaktiivinen päästö on käytännössä pois suljettu kaikissa onnettomuustilanteissa, on sijoitus lähelle asutuskeskuksia mahdollinen. Siinäkin tapauksessa pitää toteuttaa riittävät valmiusjärjestelyt. Jos ei pystytä

osoittamaan, että väestönsuojelutoimenpiteitä edellyttävä päästö on poissuljettu, on tilannetta tarkasteltava tapauskohtaisesti ottaen huomioon reaktorin teho ja turvallisuusominaisuudet. Lähelle asutusta sijoitettavan laitoksen turvajärjestelyille asetettavat vaatimukset on myös arvioitava.

Laitoksen luvanhaltijalle asetetaan säännöstössä paljon vastuita ja velvollisuuksia, minkä vuoksi on tarve pohtia uudentyypisiä ratkaisuja laitoksen omistamiseen, rakentamiseen ja käyttöön. Mikäli Suomeen harkittaisiin rakennettavaksi nykyisen kaltaiseen kevytvesiteknologiaan perustuvia SMR-laitoksia, olisi ydinjätteistä huolehtiminen (mukaan lukien käytetty polttoaine) samankaltaista kuin jo olemassa olevien laitosten osalta.

Aloitteessa esitetään useita toimenpiteitä, joita ainakin tarvittaisiin, jos yhteiskunnallinen päätös SMR:ien käyttöön varautumiseksi tehdään. Toimenpiteet liittyvät muun muassa lupaprosessin uudistamiseen, kansallisen asiantuntemuksen varmistamiseen SMR:ien käyttöönoton varalta, STUKin resurssien varmistamiseen esimerkiksi SMR:iä koskevien määräysten luonnostelemiseksi ja rahoituksen varmistamiseen SMR:iin liittyviin tutkimuksiin.



WiN Fin ekskursion Olkiluodossa.

Women in Nuclear Finland on aktivoitunut



FT Eveliina Muuri
Tuotekehitysinsinööri
Posiva Oy
eveliina.muuri@posiva.fi

Women in Nuclear Finlandin toiminta aktivoitiin uudelleen keväällä 2018. Toimintaryhmä on jo ehtinyt järjestää paljon mielenkiintoisia tapahtumia, kuten seminaareja, verkostoitumistapahtumia ja ekskursion. Toimintaryhmä haluaa tulevaisuudessa tavoittaa lisää ydinalalla työskenteleviä naisia ja järjestää toimintaryhmän jäseniä kiinnostavia tapahtumia.

Teksti ja kuvat: Eveliina Muuri

WOMEN IN NUCLEAR FINLANDIN (WiN Fin) toimintaa on aktivoitu uudelleen pitkän tauon jälkeen. WiN Fin on ATS:n toimintaryhmä, joka perustet-

tiin vuonna 1990 ensisijaisesti energia-aiheiseksi viestintäkanavaksi. Ajan myötä verkosto on kasvanut myös uraverkostoksi, joka tukee naisten urakehitystä ydinalalla.



Liisa Heikinheimo alustamassa ydinenergian nykytilasta Suomessa Mothers in Business ry -seminaarissa.



WiN Swe vierailulla Ydinturvallisuustalolla.

Tänäkin päivänä WiN Finin tarkoituksena on edistää tosiasioihin ja tieteellisesti tutkittuun tietoon perustuvan tiedon levittämistä energia-asioista, säteilyn käytöstä ja radioaktiivisuudesta sekä toimia naisten uraverkostona. Toimintaryhmä tunnettiin aiemmin nimellä ATS Energiakanava ja se on aina ollut kansainvälisen ydinalan naisten muodostaman Women in Nuclear (WiN) Globalin jäsen. Koska toimintaryhmä on tarkoitettu ensisijaisesti alalla toimiville naisille, toimintaryhmän nimikin muutettiin vuonna 2018 Women in Nuclear Finlandiksi.

WiN Fin:n toiminta päätettiin herättää uudelleen henkiin keväällä 2018 ja toiminta on lähtenyt hienosti käyntiin. Alusta lähtien on ollut selkeää, että naisten uraverkostolle on yhäkin kysyntää. Toimintaryhmän jäsenet ovat kokoontuneet yhteen useaan otteeseen verkostoitumaan, jakamaan omia kokemuksiaan ydinalalla työskentelemisestä ja suunnittelemaan tulevaa toimintaa.

Verkostoitumista ja seminaareja

WiN Fin on järjestänyt muun muassa mielenkiintoisia seminaareja. Joulukuun 2018 alussa WiN Fin järjesti yhdessä Mothers in Business ry:n kanssa erittäin onnistuneen yhteisseminaarin, jonka aiheena oli ydinenergia ja sen tarjoamat uramahdollisuudet. Tapahtumassa työ- ja elinkeinoministeriön teollisuusneuvos Liisa Heikinheimo piti alustuksen ydinenergian nykytilasta Suomessa, minkä jälkeen kuultiin erilaisia uratarinoita alalla vaikuttavilta naisilta.

Maaliskuussa 2019 puolestaan järjestettiin seminaari, jossa Helsingin yliopiston radiokemian ryhmän jatko-opiskelija Connaugh Fallon piti esityksen ydinmateriaalitutkimuk-

sesta. Seminaarissa kuultiin muun muassa millaisilla analyyttisillä menetelmillä voidaan tutkia ydinmateriaaleja, jotka ovat päässeet väärin käsiin. Esityksessä kuultiin lisäksi mielenkiintoisia yksityiskohtia Litvinenkon myrkytyksestä.

WiN Fin on kokoontunut myös epävirallisiin afterwork-tilaisuuksiin, joissa on jaettu kokemuksia ja kuultu voimaannuttavia uratarinoita. Helmikuussa 2019 säteilevät naiset kokoontuivat Nordic Nuclear Forumin jälkeen syömään yhdessä illallista ja verkostoitumaan.


Elokuussa 2019 järjestettiin Olkiluodon ekskursion, joka kokosi osallistujia ympäri Suomea. Ekskursiolla päästiin kuulemaan TVO:n sähköntuotannon johtajan Marjo Mustosen sekä Posivan kehitysjohtajan Tiina Jalosen esitykset Olkiluodon ajankohtaisista projekteista, jotka myös innoittivat paljon keskustelua. Päivän aikana vieraat pääsivät myös aluekierrokselle voimalaitosalueelle ja nauttimaan hyvästä ruoasta sekä saunasta.

Kansainvälistä toimintaa ja uusia tuulia

WiN Fin on myös verkostoitunut aktiivisesti kansainvälisen WiN-yhteisön kanssa. Helmikuussa 2019 WiN Swe kävi vierailulla Suomessa VTT:n Ydinturvallisuustalolla. Eveliina Muuri osallistui kesäkuussa WiN Global -kokoukseen Madridissa. Kirsi Hassinen puolestaan edusti WiN Finiä lokakuussa 2019 Saksassa järjestetyssä WiN Ger, WiN Swe ja WiN Fin -yhteisseminaarissa. Kirsi piti myös seminaarissa esityksen ydinvoimalaitosten luvitukseen liittyen.

WiN Fin järjestää tulevaisuudessa lisää tapahtumia, joiden tarkoituksena on luoda ydin-

alalla työskenteleville naisille uraverkosto ja myös edistää tieteellisesti tutkitun tiedon leviämistä energia-asioista, säteilyn käytöstä ja radioaktiivisuudesta. Tulevaisuuden tapahtumiaideoita voi myös lähettää toimintaryhmän puheenjohtajalle.

Toimintaryhmän vanhat sähköpostilistat olivat valitettavasti kadonneet bittiavaruuteen tauon aikana, joten toiminnasta kiinnostuneiden tietojen keräys jouduttiin aloittamaan puhtaalta pöydältä. Jos olet kiinnostunut liittymään listalle, laita sähköpostia toimintaryhmän puheenjohtajalle, Eveliina Muurille: eveliina.muuri@posiva.fi. WiN Fin -ryhmä löytyy myös LinkedInistä, kannattaa käydä liittymässä! 



WiN Fin -verkostoitumisillallinen Nordic Nuclear Forumin yhteydessä.



Loviisan voimalaitos

Hiilidioksidipäästötöntä, luotettavaa ja turvallista sähköä suomalaisille yli neljänkymmenen vuoden ajan.

Join the change

 fortum



VARMAA
VOIMAA
VIHREÄSTI

tvo Posiva



Kokemukset ydinvoima-alan projektien lisensoinnista



Ydinvoiman kustannustehokkuutta on parannettava, kansainvälisten standardien käytön on oltava helpommin hyväksyttävissä maasta toiseen, lainsäädäntöä ja vaatimuksia on päivitettävä, kokemusta täytyy arvostaa ja meidän on keskityttävä niihin asioihin, jotka todella parantavat turvallisuutta.

Teksti: Kirsi Hassinen **Kuva:** Platom Oy



DI Kirsi Hassinen

Business Unit Manager
– Leading Expert, Licensing, Qualification
& Authority Requirements
Platom Oy
kirsi.hassinen@platom.fi

KIRJOITTAJAN 17 VUODEN KOKEMUS ydinvoimalaitosyksiköiden turvallisuusluokitelluista muutostöistä ja projekteista on mahdollistanut hyvinkin yksityiskohtaisten käsityksen eri asioiden ja projektien vaiheiden osalta siitä, mitä on erityisesti otettava huomioon, sekä mitä hyväksyntöjä on haettava ja miten. Näiden vuosien aikana on tapahtunut huomattavia muutoksia viranomaisvaatimuksissa, ja projekteista on tullut aiempaa raskaampia ja kalliimpia. Jos haluamme pitää alan hengissä ja toimittajat mukana, kehitystä on tapahduttava usealla osa-alueella eikä sitä silti tarvitse tehdä turvallisuuden kustannuksella.

Projektien hallinnan haasteita

Viranomaisvaatimukset asettavat ydinvoima-alakohtaisia vaatimuksia, jotka kohdistuvat

muun muassa laatu- ja johtamisjärjestelmiin, projektien hallintaan sekä toimintaprosesseihin ja katselmoiteihin. Nämä eivät kohdistu vain luvanhaltijoille, vaan myös järjestelmien ja laitteiden toimittajille. Vaatimukset eivät yleensä ole tuttuja toimittajille eikä valmistajille ja niiden integroiminen heidän normaaleihin toimintajärjestelmiinsä on usein kallista, riskialtista ja aikaa vievää.

Harvoin projektiokohtaisilla muutoksilla saadaan eheä ja aukoton johtamisjärjestelmä. Vielä harvemmin suunnittelun tulos tai laite muuttuu näiden johtamisjärjestelmän täydennysten seurauksena. Sen sijaan erittäin tärkeää on hallita muun muassa vaatimukset, asiakirjat, konfiguraatiot, tehtävät ja näiden muutokset, ja näihin kannattaa panostaa!

Hyvän luvitus- ja kelpoistussuunnittelun avulla ovat tunnistettavissa ne toimet, asiakir-

jat ja hyväksynät, mitkä kussakin vaiheessa tarvitaan ja voidaan aikatauluttaa ja resursoida. Sopimukset, ja valitettavasti joskus myös oman selustan turvaaminen, ohjaavat toimintaa, mitkä osaltaan estävät parhaiden ratkaisujen käyttöönottamista.

Luvitus- ja kelpoistusvaatimukset ohjaavat suunnittelua

Kun suunnittelua tekevä osapuoli on hyvin perillä ydinvoima-alan vaatimuksista, tällä voi olla houkutus valita suunnitteluratkaisuja tai teknisiä toteutuksia, joilla saadaan luvitusvaatimukset helpommiksi tai jopa poistettua niistä osa. Tämä on projekteissa aikaa ja rahaa säästävää, mutta tällöin luvitusvaatimukset ohjaavat teknisen toteutuksen valintoja vaikkapa käytettävän tekniikan tai komponenttien valinnan osalta. Suunnittelua ei enää ohjaa teknisesti paras vaihtoehto ja pahimmassa tapauksessa jopa turvallisuuden kannalta paras ratkaisumalli jää valitsematta. Tämä ei voi olla hyväksyttävä tilanne.

Vaatimukset muuttuvat, pysy mukana!


Lait, asetukset ja määräykset muuttuvat suhteellisen hitaasti, mutta standardit ja viranomaisvaatimukset kuten ydinturvallisuusohjeet (YVL-ohjeet) muuttuvat koko ajan. Suurimmat muutokset YVL-ohjeissa tapahtuivat 2000-luvun alussa ja seuraava iso rakenteellinen muutos tapahtui 2013. Viimeisimmät päivitykset tehtiin 2019 ja ensi vuonna on tulossa uusia päivityksiä sekä kokonaan uusi ohje.

Vaatii hyvää keskittymistä ja osaamisen ylläpitoa, jotta pysyy ajan tasalla edes YVL-ohjeiden noin kymmenestä tuhannesta yksittäisestä vaatimuksesta. Vaatimuksista suurin osa kohdistuu komponenttitasolle asti ja koska laitteita on satoja tuhansia, voi helposti arvioida, kuinka monta sataatuhatta sivua aineistoa tarvitaan uuden yksikön luvittamisessa. Kansallisten vaatimusten sijaan kansainvälisiä standardeja on voitava hyödyntää jatkossa enemmän ja näitä standardeja sekä niiden vaatimusten muutoksia toimijat seuraavat jo muutoinkin.

Tärkeimmät kehityskohteet on myönnettävä

Jos ydinvoima-ala halutaan pitää elossa, on sen kilpailukykyä parannettava. Vain näin saadaan laitetoimittajat ja komponenttien valmistajat pysymään mukana ja omistajat satsaamaan investointeihin. Kilpailukykyä on mahdollista kasvattaa hyväksymällä paremmin kansainvälisten standardien käyttöä, kehittämällä lainsäädäntöä ja vaatimuksia, kuuntelemalla alalla olevien kokemusta sekä keskittymällä turvallisuutta varmistaviin ja parantaviin asioihin.

Tämä kaikki on mahdollista ja tarpeellista esimerkiksi pienten modulaaristen reaktoreiden (tai muiden pienreaktoreiden) kehittämis- ja käyttöönototyössä. Siihen tarvitaan vain yhteinen tahto ja osaaminen.

Miten sinä olet valmis osallistumaan ilmastoystävällisen energian elinkelpoisuuden parantamiseen? Tervetuloa mukaan! 



**YOUR LOCAL
NORDIC NUCLEAR SUPPLIER**

**A COMPLETE FUEL AND SERVICE PARTNER
FOR BWR, PWR AND VVER REACTORS**

 Westinghouse Electric Company
  @WECNuclear
  Westinghouse Electric Company
  wecchinuclear

 **Westinghouse**

www.westinghousenuclear.com

Diplomityö: Koneoppimisen hyödyntäminen ydinvoimalaitoksen eliniänhallinnassa

Herkko Pirkkalainen
Platom Oy

Koneoppimisessa kone eli tietokoneohjelma koulutetaan tekemään itsenäisiä johtopäätöksiä sille syötetystä datasta. Koneelle annetaan ensin koulutusdataa, jota se käy läpi valituilla koneoppimisalgoritmeilla ja muodostaa säännöt datan sisäiselle luokittelulle. Kone osaa tämän jälkeen tehdä tietyllä luottamusvälillä johtopäätöksiä sille syötettävästä uudesta datasta. Tärkeimpänä työkaluna diplomityössä oli MATLAB-laskentaohjelma ja sen koneoppimismoduulit. Tarkasteltavana oli kolme erilaista tapausta: syöttövesipumpun akselitiivisteiden vuodon havaitseminen, reaktoripaineastian pinnanmittauksen mittasignaalien analysointi ja ydinvoimalaitoksen kunnossapidon priorisoinnin järjeistämisen. Koneoppimisen erilaisista menetelmistä saatiin hyvää perustietoa, ja osaa niistä tullaan tulevaisuudessa hyödyntämään Olkiluodon ydinvoimalaitoksella.

In machine learning, a computer program is trained to make independent conclusions from the data it receives. The machine is first provided with training data that it goes through using the chosen machine learning algorithms and formulates rules regarding the internal classification of the data. New data can then be provided to the machine, which will make new conclusions about the data within a certain confidence interval. The most important tool used in the master's thesis was the MATLAB computing program and its machine learning modules. Three different cases were looked at: detecting a feedwater pump shaft seal leak, analyzing the reactor pressure vessel surface level measurements, and rationalizing the prioritization of the maintenance of nuclear power plant systems. Basic knowledge of the different methods of machine learning was acquired, and some of them will be utilized in the future at the Olkiluoto NPP.

Diplomityön tavoitteena oli tutkia, kuinka koneoppimista voitaisiin hyödyntää Olkiluodon ydinvoimalaitoksen eliniänhallintaprosessissa [1]. Työssä käytetty data saatiin käyviltä OL1- ja OL2-laitosyksiköiltä. Ensimmäiseksi tarkasteltiin, voiko laitoksen kunnonvalvontadatasta havaita laitteiden tulevia vikaantumisia etukäteen. Tutkittava tapaus oli syöttövesipumppujen akselitiivisteiden vuotojen varhainen havaitseminen.

Toiseksi selvitettiin, pystyykö erilaisilla koneoppimisalgoritmeilla löytämään täysin uutta tietoa laitoksen tilasta tulkitsemalla normaalin käytön aikaista mittausdataa. Tutkittava tapaus oli reaktoripaineastian neljän eri mittasignaalin vertailu ja toisistaan erottaminen.

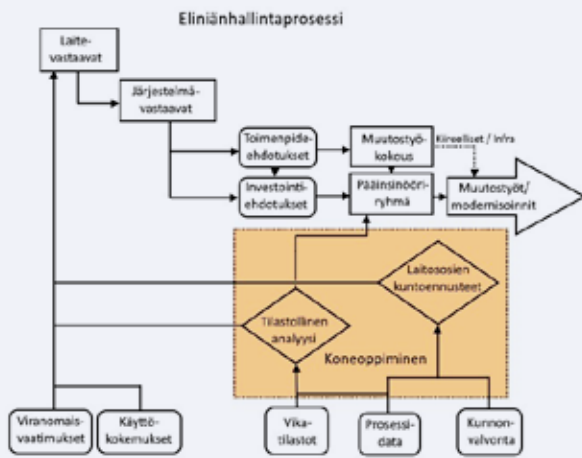
Kolmanneksi tarkasteltiin, voidaanko koneoppimisen menetelmillä järjeistää ja selkeyttää laitoksen eliniänhallinnan projektien priorisointia. TVO:n tavoitteena on, että tulevaisuudessa laite- ja järjestelmävas- taavat sekä pääinsinöörit pääsisivät hyödyntämään näitä havaintoja jokapäiväisessä työssään. Koneoppimisen sijoittuminen tulevaisuuden eliniänhallintaprosessiin Olkiluodon ydinvoimalaitoksella on havainnol- listettu kuvassa 1.

Koneoppimisen perusteita

Koneoppimisen voi jakaa karkeasti kolmeen erilaiseen lähestymistä- paan: valvottuun ja valvomattomaan oppimiseen sekä vahvistusoppi- miseen. Näitä lähestymistapoja voi yhdistellä useiksi erilaisiksi koko- naisuuksiksi.

Valvotussa oppimisessa [2] koneelle tehdään opetusdatapaketti, joka sisältää datapisteet sekä selitteen, mitä datapisteet tarkoittavat milläkin hetkellä. Selite voi olla esimerkiksi "laitteessa on laakerivika" tai "auto liikkuu eteenpäin". Selitteitä kutsutaan myös valvontasignaaleiksi, mistä oppimistapa saa nimensä. Koulutuksen jälkeen koneen pitäisi tunnistaa yhteydet datan ja sille annettujen selitteiden välillä. Onnistuneen koulutuksen jälkeen kone pystyy luokittelemaan tuoret- ta dataa samoilla selitteillä. Tätä koneoppimismetodia käytetään, kun tiedetään tarkkaan mitä data milläkin hetkellä tarkoittaa.

Valvomattomassa koneoppimisessa [2] koneelle annetaan dataa, jossa ei ole selitteitä valmiina. Kone pyrkii tämän jälkeen tunnistamaan datasta ryhmiä sekä niiden välisiä yhteyksiä koneoppimisalgoritmien avulla. Lopputuloksena on jaoteltu ja ryhmitelty data, jossa ei kuiten-



Kuva 1. Yksinkertaistettu kaavio TVO:n eliniänhallintaprosessista, jossa oranssilla pohjalla on koneoppimiselle kaavailtu paikka [1].

kaan ole koneen keksimiä suoria selitteitä. Tämän takia koneen käyttäjän on tehtävä omat johtopäätöksensä lopputuloksen merkityksestä. Tätä koneoppimismetodia käytetään, kun ei tarkalleen tiedetä, mitä data tarkoittaa, siitä halutaan tehdä omat johtopäätökset tai sen välisistä suhteista halutaan lisätä tietoa.

Vahvistusoppimisessa [2] koneelle annetaan aluksi dataa analysoitavaksi ja sitten seurataan mitä johtopäätöksiä kone datasta tekee. Koneen kouluttaja toimii alussa ”ympäristönä” ja antaa näistä johtopäätöksistä joko negatiivisia tai positiivisia palautesignaaleja. Kone ottaa signaalit huomioon ja muuttaa käytöstään tehdessään palautteen jälkeen uusia johtopäätöksiä. Kun kone on päässyt alkuun, kouluttaja jättää koneen rauhaan ja kone alkaa itsenäisesti muuttaa tekemiään johtopäätöksiä oikeasta ympäristöstä tulevien positiivisten ja negatiivisten signaalien perusteella. Vahvistusoppimista käytetään, kun halutaan saada kone, joka pystyy itsenäisesti oppimaan uusia asioita myös uudelta datasta. Tämä voi olla esimerkiksi itsenäiseen ajamiseen opetettu auto, joka pystyy talven tullen opettelemaan ajamaan uusissa olosuhteissa itsenäisesti.

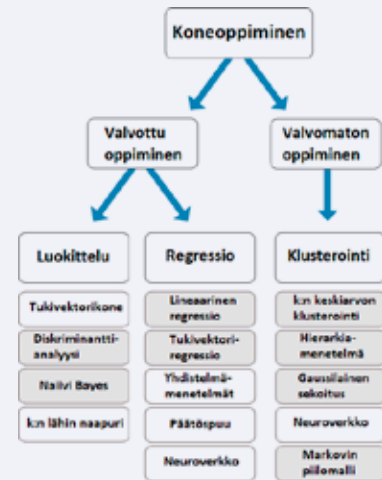
Yleisesti voidaan sanoa, että mitä enemmän koulutusdataa on saatavilla, sitä paremmiksi koneet saadaan koulutettua [2]. Suurempi datan määrä tietysti hidastaa koulutusta varsinkin, jos sen ulottuvuus on suuri. Erilaiset algoritmit soveltuvat myös toisia paremmin tietynlaisille datatyypeille ja -määrille. Työssä käytettyjä koneoppimisalgoritmeja on esitelty kuvassa 2. Suuret koulutusdata-aineistot ovat myös alltiita ylisovitukselle valvotun oppimisen menetelmissä, jos eri seliteluokkien suhteelliset kokoerot ovat suuria, eikä koulutuksessa käytetä tarpeeksi dataa ristiinvalidointiin.

Eliniänhallinnan tavoitteita Olkiluodossa

Tällä hetkellä Olkiluodon ydinvoimalaitoksen ikääntymisen hallintaa suoritetaan määräaikaiperusteisesti eli proaktiivisesti. Tavoitteena on siirtyä mahdollisuuksien mukaan kunnonvalvontaperusteisiin eli ennustaviin menetelmiin. Etenkin OL3-laitosyksiköllä pyritään ottamaan mahdollisimman paljon ennustavia ikääntymisenhallinnan menetelmiä käyttöön heti sähköntuotannon aloittamisesta lähtien. Olkiluodon ydinvoimalaitoksella on tietyillä osa-alueilla jo otettu käyttöön PDCA-sykli (Plan, Do, Check, Act) [3], mikä on W.E. Demingin popularisoima laadunhallinnan menetelmä, joka on havainnollistettu kuvassa 3. Sykli pyrkii jatkuvasti parantamaan organisaatiossa käytettyjä toimintatapoja. Syklissä suunnitellaan muutos, toteutetaan se, tarkastellaan muutoksen tuloksia ja lopuksi toimitaan havaittujen tulosten perusteella. Yksi syklin pyörähdys voisi esimerkiksi olla koneoppimisen metodien testaaminen ja käyttöönotto eliniänhallinnan apuvälineenä.



Kuva 3. Havainnollistava kuva PDCA-prosessista.



Kuva 2. Yleisimpiä koneoppimisalgoritmeja jaoteltuna valvottuihin ja valvomattomiin menetelmiin. Työssä käytetyt algoritmit ovat valkoisella pohjalla.

ma, joka on havainnollistettu kuvassa 3. Sykli pyrkii jatkuvasti parantamaan organisaatiossa käytettyjä toimintatapoja. Syklissä suunnitellaan muutos, toteutetaan se, tarkastellaan muutoksen tuloksia ja lopuksi toimitaan havaittujen tulosten perusteella. Yksi syklin pyörähdys voisi esimerkiksi olla koneoppimisen metodien testaaminen ja käyttöönotto eliniänhallinnan apuvälineenä.

Käytetyt menetelmät ja laitoksilta saatavan datan käsittely

Työssä käytettiin pääosin valvotun oppimisen menetelmiä. MATLAB:in koneoppimismoduuleista käytettiin Classification Learneria (CL) ja Neural Network Pattern Recognitionia (NNPR). Samat asiat olisi voitu tehdä myös esimerkiksi käyttämällä hyväksi Google Brain Teamin tekemää TensorFlow:ta, joka on avoimen lähdekoodin koneoppimisalgoritmien kirjasto [4]. Valvomattomia klusterointimenetelmiä testattiin myös nopeasti, mutta niillä ei saatu konkreettisia tuloksia ja asiaan syvemmin perehtyminen jäi työn laajuuden ulkopuolelle.

OL1- ja OL2-laitosyksiköillä on runsaasti voimalaitosprosessin suuria mittavia antureita, joilla valvotaan sekä prosessien tilaa että yksittäisten laitteiden toimintaa ja kuntoa. Mittasuureina ovat esimerkiksi lämpötila, paine, tilavuusvirta, pyörimisnopeus ja asento. Mittausdataa kerätään kahdella eri järjestelmällä, joista toinen kerää tietoa matalilla

taajuuksilla pitkältä aikaväliltä (MTD), ja toinen suurella taajuudella lyhyeltä aikaväliltä (KTD).

Datan esikäsittely suoritettiin pakkaamalla MTD-laskentataulukkojen tiedot KTD-dataa vastaavaan muotoon. Mittausdatojen käsittelyketju on havainnollistettu kuvassa 4. Esikäsittelyn jälkeen dataa voitiin käsitellä tarkoitusta varten luodulla MATLAB-skriptikokoelmalla. Kaikessa mittausdatassa esiintyy suurella todennäköisyydellä myös virheitä, jotka on otettava huomioon datan esikäsittelyssä, ennen kuin sitä aletaan käyttää koulutusdatana.

Syöttövesipumppujen akseliivistevuotojen tapaus

Koulutusdatalle luotiin kolme seliteluokkaa: ”normaali”, ”hidas vuoto” ja ”nopea vuoto”. Jaottelu tehtiin käsin tarkastelemalla MTD-dataa huolellisesti. Akseliivisteiden vuodon alkamisajankohdan pystyi useimmiten rajaamaan noin 5 tunnin aikaikkunan sisään, ja vuodon nopeuden pystyi myös näkemään datasta.

Työn tuloksena saatiin koulutettua useita koneita, jotka pystyivät vähintään kohtuullisella tarkkuudella havaitsemaan pumppujen akseliivisteiden vuodot hyvissä ajoin. Taulukossa 1 nähdään neljän erilaisen koneoppimisalgoritmin suoriutumisen testidatan luokittelusta. Testidatana käytettiin OL1-laitosyksiköltä saatavaa raakaa, etukäteen siistimätöntä mittausdataa, jossa oli mukana diplomityötä tehdessä ilmaantunut uusi akseliivisteiden vuoto. On kuitenkin tärkeää muistaa, että onnistumisprosentti on täysin riippuvainen erilaisten luokitusten lukumääräisestä tasapainosta. Koska lopullisessa testidatassa normaalin käyttäytymisen luokituksia oli noin 95 % mittapisteistä, voisi kone saada onnistumisprosentiksi 95 % veikkaamalla kaikki datapisteet suoraan normaaliiksi käyttäytymiseksi.

Paras luokittelija oli päätöspuiden yhdistelmämetodi eli sekametsä. Se veikkasi suureksi vuodoksi luokitellut datapisteet oikein 91 % tarkkuudella ja pieniksi vuodoiksi luokitellut datapisteet oikein 61 % tarkkuudella. Koulutusdatan määrän vaihtelu vaikutti tuloksissa eniten tukivektorikoneisiin ja vähiten k:n lähimmän naapurin luokittelijoihin. Tukivektorikoneet olivat myös hitaimpia kouluttaa.

Reaktoripaineastian pinnanmittauksien tapaus

Koulutusdatalle tehtiin neljä seliteluokkaa, yksi jokaiselle pinnanmittauksen signaalille. Koulutusdata ja testidata otettiin eri päiviltä. Data päätettiin 50 ms pituisiksi paketeiksi ja sekoitettiin keskenään. Kokeilujen aikana saatiin koulutettua useita koneita tunnistamaan eri mittasignaalit toisistaan. Koulutusdatan määrä vaikutti selvästi etenkin neuroverkon koulutuksen tuloksiin: mitä enemmän koulutusdataa oli saatavilla, sen parempi. Suurella koulutusdatan määrällä on varjopuolensa. Datan esikäsittely pitkittyi ja osa koneoppimisalgoritmeista muuttuu nopeasti työläiksi kouluttaa datamäärän kasvaessa. Varsinkin erotteluanalyysien ja tukivektorikoneiden koulutus hidastui

Taulukko 1. Eri koneoppimisalgoritmeja käyttäneiden koneiden onnistumisprosentit CL-työkälulla.

Koneoppimisalgoritmi	Onnistumisprosentti
Yhdistelmä (sekametsä)	98,7%
k-NN (hienojakoinen)	98,6%
Luokituspuu (hienojakoinen)	98,3%
SVM (neliöllinen)	98,1%



Kuva 4. Havainnollistava prosessikaavio mittausdatan käsittelyketjusta. Samanväriset nuolet kuvaavat samanlaisen rakenteen omaavaa dataa. Koneoppimisen tuloksia voi havainnollistaa esimerkiksi sekaannusmatriisilla (oikealla) tai reaaliaikaisella piirturilla (alhaalla).

huomattavasti suurella koulutusdatan määrällä. Koulutuksien tulokset näkyvät taulukossa 2. Paras luokittelija myös tälle datatyypille oli päätöspuiden yhdistelmämenetelmä eli sekametsä.

Kunnossapidon priorisoinnin järjeistäminen

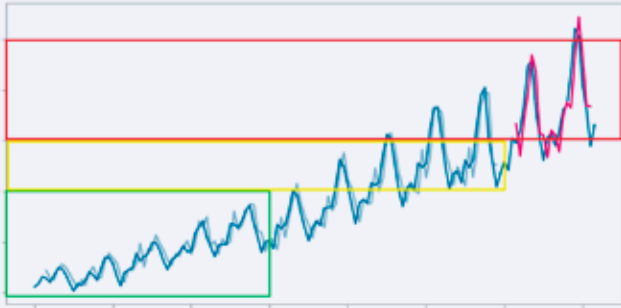
OL1- ja OL2-laitosyksiköiden järjestelmät luokitellaan tällä hetkellä ikääntymisenhallinnan näkökulmasta kolmella tunnusluvulla: turvallisuuserroin, ikääntymiskerroin ja taloudellinen kerroin. Näillä tunnusluvuilla on tarkoitus perustella järjestelmien kunnossapidon priorisointijärjestystä. Tunnusluvut lasketaan lukuisista alemman tason tunnusluvuista TVO:n tekemällä MATLAB-skriptikokoelmalla.

Alemmat tunnusluvut syötettiin usealle eri luokittelijalle. Näistä paras oli k:n lähimmän naapurin luokittelija, jolla saavutettiin 99,7 % tarkkuus. Vertailukohtana oli nykyisen skriptikokoelman tekemät luokitukset OL1- ja OL2-laitosyksiköiden järjestelmien tilasta. Kaikki testatut koneet pääsivät yli 98 % tarkkuuteen.

Koneoppimisen avulla oikean luokituksen muodostaminen on siis mahdollista, mutta täysi onnistuminen vaatisi koneiden hienosäätöä. Käytännön tasolla koneoppimisen soveltaminen ei tässä tapauksessa ole järkevää, koska luokittelu oli jo tehty MATLAB-skriptikokoelmalla, joka pystyy käytännössä luokittamaan järjestelmät silmänräpäyksessä aina oikein. Koneoppiminen muuttuisi relevantiksi datan analysointitavaksi vain, jos lähtödatan määrää kasvatettaisiin huomattavasti, jolloin käsin tehtävä työ MATLAB-skriptikokoelman kanssa tunnuslukujen laskeutemiseksi olisi liian työlästä.

Taulukko 2. Eri koneoppimisalgoritmeja käyttäneiden koneiden onnistumisprosentit käyttäen pitkää koulutusdataa

Koneoppimisalgoritmi	Onnistumisprosentti
Yhdistelmä (sekametsä)	99,9%
SVM (neliöllinen)	94,9%
Luokituspuu (hienojakoinen)	94,8%
Neuroverkko	94,7%
k-NN (hienojakoinen)	94,6%



Kuva 5. Havainnollistava kuvaaja mahdollisesta trendejä ennustavasta MATLAB-funktiosta. Sininen käyrä on syöttövesipumpun mittausdatasta laskettu piirre. Laatikot kuvaavat akselitiivsteen vuodon todennäköisyyttä seuraavan kuukauden sisällä: vihreä on epätodennäköinen, keltainen on todennäköinen ja punainen on lähes varma.

Koneoppiminen ja mekaaniset laitteet

Syöttövesipumppujen tapauksessa koneita voisi kouluttaa vielä selkeästi paremmiksi, jolloin parasta konetta voisi alkaa käyttää OL1- ja OL2-laitosyksiköillä syöttövesipumppujen akselitiivsteiden vuotojen varhaisessa havaitsemisessa. Datan esikäsittelyä ja normalisointia voisi vielä kehittää paljon. Myös meriveden lämpötila kannattaisi ottaa yhdeksi lisäparametriksi, jolloin talvella tapahtuneet tiivsteiden vuodot erottuisivat paremmin kesän alkamisesta johtuvasta normaalista lämpötilan noususta.

Yksi tulevaisuuden mahdollisuus olisi tehdä trendipiirturi, joka osaisi tulkita pumppuun liittyvien prosessisuureiden välisiä suhteita. Piirturi antaisi hälytyksen, jos se arvioisi nykyisen kehityksen kulkevan kohti tiivsteen todennäköistä vikaantumista. Piirturiin voisi esimerkiksi lisätä aikaikkunoita, jotka kertovat kuinka lähellä tuleva vikaantuminen suurin piirtein on. Ideaa on havainnollistettu kuvassa 5. Samaa periaatetta voisi soveltaa kaikissa muissakin laitoksen mekaanisissa laitteissa.

Viitteet

- [1] Vaaheranta, M., 2018., Diplomityöhön liittyvä palaveri. Teollisuuden Voima Oyj, Töölö, Helsinki. 24.5.2018.
- [2] Shalev-Shwartz, S., Ben-David, S., Understanding Machine Learning, 1st edition, Cambridge University Press., UK, 2014.
- [3] Deming, W.E., The New Economics for Industry, Government, Education, 2nd edition, Massachusetts Institute of Technology Press., U.S.A., 2000.
- [4] Géron, A., Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems, 1st edition, O'Reilly Media, 2017.
- [5] Machine Learning in MATLAB. [internet-sivusto]. [Viitattu 5.9.2018]. MathWorks Inc. Saatavilla: <https://se.mathworks.com/help/stats/machine-learning-in-matlab>.

Koneoppiminen ja elektroniikkakomponentit

Pinnamittauksien tapauksessa mittasignaalien analysointia voisi kehittää eteenpäin etsimällä syy-seuraussuhteita mittasignaalien eroihin. Yksi askel olisi tarkastella kaikkien mittasignaali- ja komponenttien huoltohistoriaa ja yhdistää ne mittasignaaliin.

Kun mittasignaali- ja komponenttien tapauksessa tapahtuu seuraava huolto tai komponentin vaihtaminen, mittausdataa voisi vertailla keskenään ennen ja jälkeen tapahtuman. Vertailun tuloksena voitaisiin nähdä tapahtuman aiheuttama muutos lopulliseen mittasignaaliin. Tällä tiedolla varustettuna voitaisiin tarkastella muita mittasignaaleja ja saada ymmärrystä myös niiden komponenttien kunnosta. Onnistuneella signaalien analysoinnilla olisi periaatteessa mahdollista ennakoita, missä komponentissa tulee tapahtumaan seuraava vikaantuminen.

Muut kehitysjatkukset

Tulevaisuudessa olisi teoriassa mahdollista kerätä kaikki laitosesiköiden prosessimittausdata kasaan ja yhdistää ne kaikkien laitosesiköiden tapahtumien kanssa yhdeksi suureksi tietokannaksi (Big Data) koneoppimiselle sopivaan muotoon. Tällöin saatettaisiin mahdollisesti löytää ennen tuntemattomia syy-seuraussuhteita laitosesiköiden järjestelmien ja komponenttien välillä valvomattoman koneoppimisen menetelmin. Datan kerääminen ja yhdisteleminen vaatisi kuitenkin huomattavia resursseja ja koko datamäärän käsittely olisi laskennallisesti erittäin haastavaa.

Koneoppimisen menetelmien hyödyntämiseksi alaa ei tarvitse opiskella erikseen, vaan asiaan voi myös perehtyä kurssien tai itseopiskelun kautta suhteellisen helposti [5]. Useat ydinvoimalaitoksilla työskentelevät asiantuntijat voisivatkin tulevaisuudessa käyttää koneoppimisen menetelmiä tehostamaan laitoksilta saatavan datan analysointia omassa työssään. Tämä vaatisi käytettäville koneoppimistyökaluille kohtuullista hinnoittelua ja käyttäjäystävällisyyttä, sillä avoimen lähdekoodin koneoppimiskirjastojen käyttäminen vaatii vielä tällä hetkellä myös koodaustaitoja.

Diplomityö on hyväksytty 26.4.2019 Lappeenrannan-Lahden teknillisessä yliopistossa.

Kirjoittaja



DI Herkko Pirkkalainen

Asiantuntija - Ydinvoimatekniikka
Platom Oy
herkko.pirkkalainen@platom.fi

Reactor core conceptual design for a scalable heating experimental reactor, LUTHER

Thinh Truong, Heikki Suikkanen, Juhani Hyvärinen
Lappeenranta-Lahti University of Technology

Nuclear energy has great potential to contribute to decarbonizing of the district heating sector in Finland. LUT University has started the conceptual designing of a dedicated district heating reactor with the aims of cost-effectiveness, modularity, simplification and safety. In this paper, the conceptual design and a preliminary study of LUT Heating Experimental Reactor (LUTHER) for a 2 MWth power are presented. LUTHER is a scalable light-water pressure-channel reactor designed to operate at low temperature, low pressure and low core power density.

Ydinvoimalla on merkittävä potentiaali saavuteltaessa kaukolämpösektorin hiilineutraaliutta. LUT-yliopisto on aloittanut oman kaukolämpöreaktorin konseptisuunnittelun, jonka tavoitteina ovat kustannustehokkuus, modulaarisuus, yksinkertaistaminen ja turvallisuus. Tässä artikkelissa esitellään 2 MWth:n LUTHER-reaktorin (LUT Heating Experimental Reactor) konsepti ja alustavia tutkimustuloksia. LUTHER on skaalautuva kevytvesipainekanaavareaktori, joka on suunniteltu toimimaan matalassa lämpötilassa, alhaisessa paineessa ja alhaisella sydämen tehoteheydellä.

In colder climate regions, such as the Nordic countries, heating plays an essential role in energy markets and is one of the dominant sectors of the final energy use. In the European Union (EU), heating and cooling take up approximately 50% of the total final energy consumption, of which 75% is still generated by the direct use of fossil fuels [1]. Particularly in Finland district heating had a share of about 46% of the national heat market in 2016 [2]. Fossil fuels, mainly coal, gas and peat, are still the primary sources of fuel for district heat production in Finland [3]. Consequently, the heating and cooling sector contributes significantly to the total annual greenhouse gas (GHG) emissions in Finland.

Due to the current trend of consumption and production of energy, the EU established the heating and cooling policy and strategy in 2016 to reduce GHG emissions by 2030 [1]. The EU's climate and energy goals aim to decarbonize by reducing the use of fossil fuels and increasing energy efficiency in the heating and cooling sector. Furthermore, Finland, in particular, has ambitious long-term goals of reaching carbon neutrality while securing the national energy supply, as well as improving the current energy systems and technology by 2050 [1].

These ambitious decarbonization plans from the EU and Finland make nuclear heating an attractive option. Additionally, due to the current trend towards de-centralized energy systems and recent difficulties in the construction of large units, there is a keen interest in small reactors (i.e., small modular reactor or SMR). Furthermore, the cost-effective production of low-temperature heat with dedicated small reactor units calls for a reactor design with simplified reactor core and safety systems. It also needs to be easy to manufacture and should utilize off-the-shelf components as far as possible.

Therefore, LUT has started conceptual designing of a dedicated district heating reactor with the aims of cost-effectiveness, modularity, simplification, and safety. LUT Heating Experimental Reactor (LUTHER)

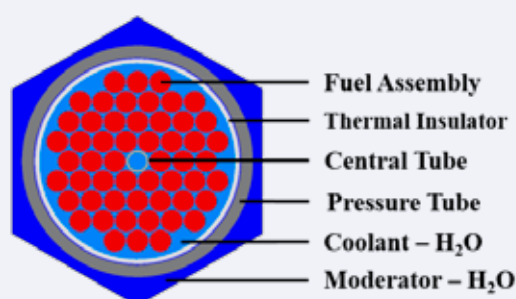


Figure 1. Schematic view of the LUTHER fuel channel with fuel assembly inside.

is a scalable light-water modular pressure-channel reactor designed to operate at low temperature, low pressure and low core power density. The smallest LUTHER core is designed to produce 2 MWth power to experiment and demonstrate the novel means of reactivity control and the feasibility of a pressure-channel district heating reactor. The process of conceptual designing the LUTHER started with a basic fuel assembly utilizing low enriched uranium (LEU) fuel and off-the-shelf reactor components. As a major design feature, LUTHER uses movable fuel assemblies, located inside fuel channels, for reactivity control and fuel burnup compensation, thereby eliminating both conventional control rods and soluble boron. In this paper, the basic design and features of LUTHER are presented, which is supported by the first core design calculations that show the feasibility of the new core design and reactivity control by moving fuel assemblies.

Table 1. Basic LUTHER core, fuel channel and fuel assembly design parameters.

Reactor core	
Design thermal power [MWth]	2
Equivalent core diameter [m]	0,48
Active core height [m]	0,48
Number of fuel assemblies	19
Linear power rate (ave.) [kW/m]	3,853
Core power density (ave.) [kW/l]	22,94
Mass inventory of UO ₂ fuel [tons]	0,25
Heat transport system	
Reactor coolant pressure [MPa]	1,25
Reactor coolant inlet / outlet temp. [°C]	150 / 180
Reactor moderator pressure [MPa]	0,101325
Reactor moderator temp. [°C]	40
Single channel flow rate (ave.) [kg/s]	0,807
Fuel channel	
Pressure tube inner diameter [cm]	8,7
Pressure tube thickness [mm]	5
Thermal insulator inner diameter [cm]	8,2
Thermal insulator thickness [mm]	2
Fuel channel pitch [cm]	10,5
Thermal power output (ave.) [kW/channel]	105,3
Fuel assembly	
Number of fuel rods	54
Fuel pellet diameter [mm]	7,844
Fuel cladding thickness [mm]	0,5715
Fuel rod outer diameter [mm]	9,144
Fuel rod lattice pitch [cm]	0,96
Enrichment of the fuel (95% TD) [wt.%]	4,95
Number of central tubes	1
Central tube inner / outer diameter [mm]	7.2 / 9.6

1. Conceptual design features of LUTHER

1.1 Fuel channel and assembly design

A schematic view of LUTHER fuel channel with a fuel assembly inside is illustrated in figure 1, and the first design dimensions are given in table 1.

The LUTHER fuel assembly design is based on the VVER-1000 Robust Westinghouse Fuel Assembly (RWFA) with modifications to the lattice pitch and length of fuel elements. The Westinghouse fuel pins comprise LEU ceramic pellets coated with ZIRLO™ (zirconium low oxidation) cladding. The pin lattice pitch was modified and selected to be 0.96 cm for the present analysis as a compromise between mechanical design and reactor physics. The first fuel assembly design consists of 54 fuel pins and a central tube used for mechanical moving support of the channel and instrumentation.

The fuel channel is a 5 mm thick pressure tube made of zirconium-niobium alloy (Zr-2.5 wt.% Nb), similar to a CANada Deuterium Uranium (CANDU) fuel channel, which forms a pressure boundary to contain the low-pressure light-water coolant at 1.25 MPa and a 54-element fuel assembly. The given thickness was chosen to assure the integrity of the channel during any transients and adequate strength

for end-fitting plugs of the pressure tube. This configuration allows the reactor to be scalable and the calandria vessel (i.e., the moderator tank) to be designed for low temperature and low pressure (i.e., atmospheric pressure), thereby reducing the vessel wall thickness, which lowers the costs of fabrication and manufacture and simplifies component quality control [4].

To maximize the economy of generated nuclear heat and to assure the safety of the core from thermal stresses on pressure tubes and boiling of the moderator, a 2 mm thick thermal insulator is added inside each fuel channel, as shown in figure 1. A ceramic silica bonded yttria-stabilized zirconia, also known as zirconium oxide cylinder (ZYC), manufactured by Zircar Zirconia Inc., is proposed as a material for the thermal insulator in the LUTHER fuel channel. Yttria-stabilized zirconia (YSZ) material features an ideal insulation in a high-temperature in-core environment with low neutron absorption, good thermal resistance (0.08 W/mK at 400°C), good dimensional stability and hot strength, low mass (0.48 g/cm³ with porosity of 91%) and low heat storage, and lastly machinability to any intricate shapes with tight tolerances [5][6].

The central tube is a 1.2 mm thick annular cylinder with an inner diameter of 7.2 mm, and it is made of the same material as the fuel cladding. The central tube, as part of the fuel assembly, is attached to the fuel assembly drive mechanism, similar to the conventional control rod drive mechanism used in nuclear power plants. However, in this case, the whole fuel assembly is raised or lowered inside the pressure tube. The capability to move selected fuel assemblies serves as a means for reactivity control, fuel burnup optimization, and possibly as a shutdown mechanism, thus obviating the need for control rods and soluble boron. Additionally, the annular configuration allows instrumentation to be inserted into the fuel assembly for measurements or irradiation purposes.

1.2 Reactor core design

A 2 MWth LUTHER core design, illustrated in figure 2, comprises 19 vertically oriented fuel channels, accommodating movable fuel assemblies inside, arranged in a hexagonal lattice. These fuel channels are surrounded by the atmospheric-pressure light-water moderator, which is contained in a low-pressure calandria vessel. Light water in the calandria serves as a neutron moderator and a passive heat removal medium, and it is maintained at 40°C in the current design. The calandria vessel is also designed with the capability to drain the moderator, which can act as a diverse means to shut down the reactor.

A 10.5 cm lattice pitch for fuel channels was selected for the present analysis. This value was chosen as a compromise between the optimal infinite multiplication factor and sufficient spacing for the mechanical design of the end-fitting plugs of the pressure tubes. Each pressure tube is individually connected to a thermal collector positioned above the core,

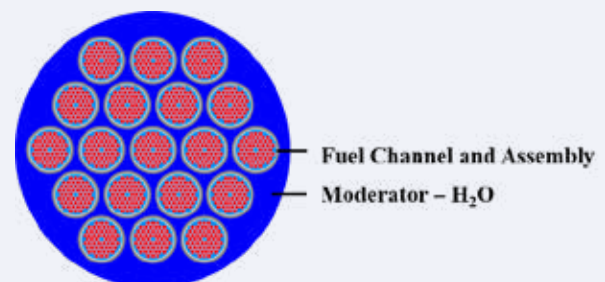


Figure 2. Schematic view of the 2 MWth LUTHER core without neutron reflector region.

where heat from the primary circuit is transferred to the district heating network via an intermediate water loop. This design choice is made to allow access to an individual fuel assembly in the channel for maintenance and refuelling and to ensure coolant availability to the core during any accidents, e.g., fuel channel rupture and loss of coolant accident (LOCA).

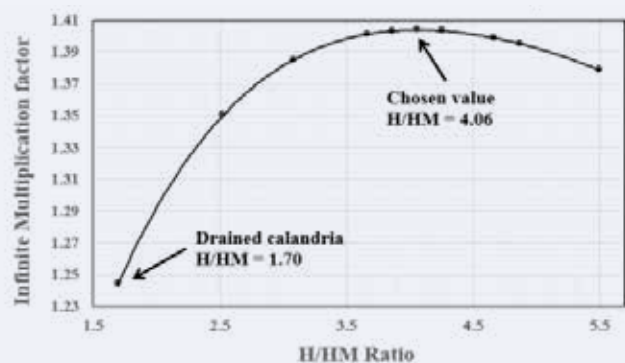


Figure 3. Infinite multiplication factor of a fuel assembly as a function of H/HM ratio with a fuel pin lattice pitch of 0.96 cm.

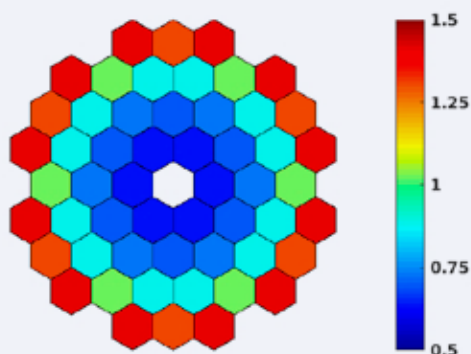


Figure 4. Normalized power distribution in a single fuel assembly with identical 4.95 wt.-%-uranium-235 enriched fuel pins.

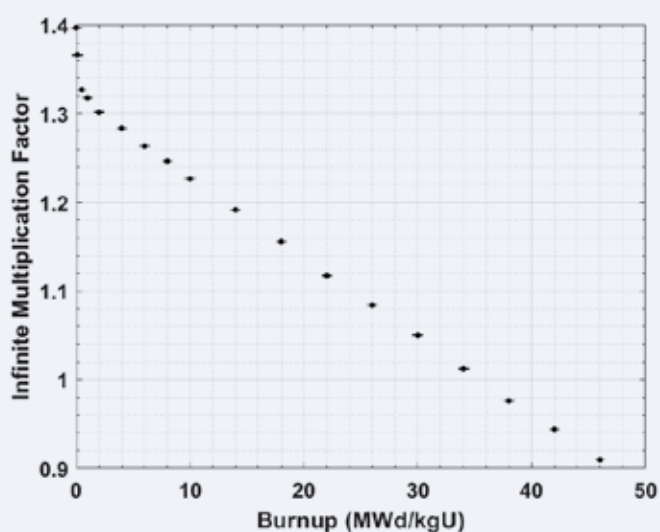


Figure 5. Infinite multiplication factor of a fuel assembly without burnable absorbers as a function of burnup.

Furthermore, the present LUTHER core design does not include a radial or axial reflector region. It is expected that in a bare light-water reactor core, the migration area is minimal; hence, there is a significant leakage of neutrons, mainly fast neutrons [7]. Consequently, neutron reflector is desirable in reducing the neutron leaks, and further studies on neutron reflector and material selection are needed.

2. LUTHER design calculations

In this study, the reactor physics calculations were performed using the Serpent Monte Carlo code developed by the VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. [8]. Serpent code is used in this research for calculating the multiplication factor, power distribution and reactivity control.

The design was analysed on two levels: (1) 2D single fuel assembly and (2) 2D and 3D reactor core. The first level analysis is aimed at optimizing the design parameters concerning the reactivity of the fuel assembly and mechanical design of the channel. Additionally, the power distribution calculation was performed in a fuel assembly, and the primary objective of the second level analysis is to determine the feasibility of controlling reactivity by moving selected fuel assemblies.

2.1 Fuel assembly analysis

With the proposed design parameters tabulated in table 1, the infinite multiplication factor of a fuel channel containing a fuel assembly is calculated and presented as a function of the hydrogen-to-heavy-metal (H/HM) ratio in figure 3. In this calculation, the lattice pitch of fuel pins is fixed at 0.96 cm, and the lattice pitch of fuel channels is varied corresponding to the H/HM ratio. At this first stage of the study, the H/HM ratio in the fuel channel was optimized to approximately 4.06, achieving the maximum. This results in a fuel channel lattice pitch of 10.5 cm and an 8 mm spacing clearance between pressure tubes.

Furthermore, figure 3 also shows the reactivity effect when the moderator of a fuel channel is drained completely, which yields the reactivity change of approximately $-9.16\% \Delta k/k$ and the H/HM ratio of 1.70. Thus, the calandria draining looks a promising diverse means for reactor shutdown, in addition to the primary means of dropping selected fuel assemblies out of the core.

In addition, the normalized power distribution of a fuel assembly is calculated and presented in figure 4. The fuel assembly design at this preliminary design phase consisted of identical fuel pins with the same uranium-235 enrichment of 4.95 wt.% and without burnable absorbers (e.g., gadolinium). Due to the tighter fuel pin configuration and semi-symmetrical geometry of the assembly, the calculation results in non-uniform power distribution in the fuel assembly. The main reason is the lack of coolant in the assembly's flow subchannels; thereby, there is less neutron moderation near the center of the assembly than the outer edges. Thus, power peaking occurs in the fuel pins located at the outer ring of the lattice, and the current pin power peaking factor is 1.42. The design is needed to be optimized in the future, using either fuel pins with different enrichments or with gadolinium doped fuel pins.

Furthermore, a fuel burnup calculation was performed for an infinite fuel assembly without burnable absorbers. The first result is shown in figure 5 such that the fuel burnup at the end of cycle (EOC) is approximately 36 MWd/kgU.

2.2 Reactivity control by moving fuel assemblies

LUTHER is proposed to utilize moving fuel assemblies for reactivity control and possibly for fuel burnup compensation and reactor shutdown,

replacing conventional control rods and soluble boron. Figure 6 shows one possible configuration in a 2 MWth core with the fuel channels enclosing movable fuel assemblies, highlighted with a light blue color. To calculate the reactivity effect of those moving fuel assemblies, the highlighted assemblies were withdrawn below the core at 10% of the increments. Figure 7 presents the reactivity worth of movable fuel assemblies with a polynomial fit for the configuration shown in figure 5, exhibiting a similar reactivity effect as control rods would provide. The total reactivity worth of those movable fuel assemblies is approximately 17 000 pcm, showing a promising alternative to control core reactivity.

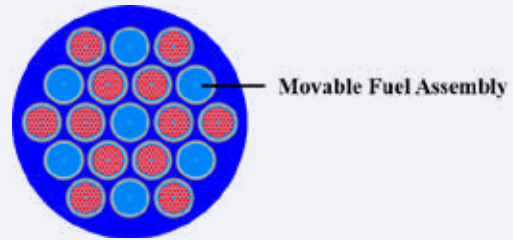


Figure 6. One possible configuration of movable fuel assemblies for reactivity control in a 2 MWth LUTHER core.

3. Conclusions

In conclusion, the LUTHER pressure-channel reactor is a feasible concept. Scalable and modular designs have considerable potential in decarbonizing the district heating sector and are needed to meet the EU and Finland’s ambitious climate goals. The preliminary proposed design shows reasonable dimensions and design parameters for a nuclear district heating reactor. This work provides an early conceptual understanding for a light-water pressure-channel reactor with the unique feasible feature of movable fuel assemblies, replacing control rods and soluble boron in reactivity control. In addition, commercially deployable powers of 24 MWth and 120 MWth are also studied and assessed. Further studies and assessments are needed to understand more and improve the LUTHER core design concept, and to complete the thermal-hydraulic system design to implement robust inherent safety characteristics.

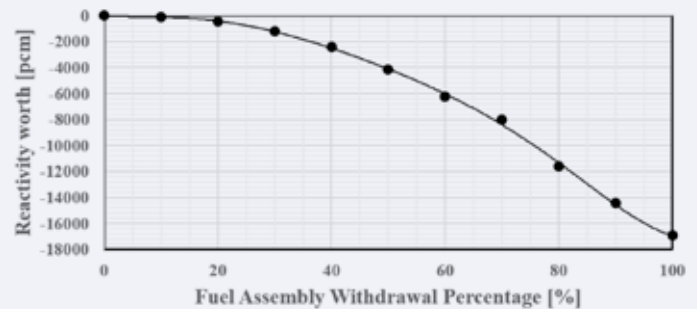


Figure 7. Fuel assembly reactivity worth of the configuration shown in figure 5 in a 2 MWth LUTHER core.

References

- [1] Patronen, J. & Kaura, E. & Torvestad, C. Nordic heating and cooling–Nordic approach to EU’s Heating and Cooling Strategy. TemaNord. 2017. 110 p. ISSN 0908-6692. Available at: <http://dx.doi.org/10.6027/TN2017-532>.
- [2] Paiho, S. & Saastamoinen, H. How to develop district heating in Finland. Energy Policy. 2018, vol. 122. P. 668-676.
- [3] Energiategollisuus ry. District heating in Finland 2016. 2017. 76 p. ISSN 0786-4809.
- [4] Leppänen, J. A Review of District Heating Reactor Technology. VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. 2019. 14 p. VTT-R-06895-18.
- [5] Yetisir, M. & Gaudet, M. & Pencer, J. & McDonald, M. & Rhodes, D. & Hamilton, H. & Leung, L. Canadian Supercritical Water-Cooled Reactor Core Concept and Safety Features. Canadian Nuclear Laboratories Nuclear Review. 2016, vol. 4:2. P. 189-202.
- [6] Zircar Zirconia Inc. ZYC Silica Bonded Ytria Stabilized Zirconia Fiber Cylinder. 2019. 10 p [accessed 6.6.2019]. ZZ-5011 Rev. 1. Available at: https://www.zircarzirconia.com/images/datasheets/ZZ-5011_Rev01_-_ZYC.pdf?type=file.
- [7] Reuss, P. Neutron Physics. Les Ulis, France: EDP Sciences, 2008. P. 537-574. ISBN 978-2-7598-0041-4.
- [8] Leppänen, J. & Pusa, M. & Viitanen, T. & Valtavirta, V. & Kaltiaisenaho, T. The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013. Annals of Nuclear Energy. 2015, vol. 82. P. 142-150. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.08.024>.

Writers



Thanh Trung
Junior Research Assistant
LUT University
thinh.truong@lut.fi



D.Sc. (Tech.) Heikki Suikkanen
Assistant Professor (tenure track)
LUT University
heikki.suikkanen@lut.fi



D.Sc. (Tech.) Juhani Hyvärinen
Professor
LUT University
juhani.hyvarinen@lut.fi

Diplomityö: Todennäköisyysperusteisen seismisen hasardilaskennan herkkyytstarkastelu Hanhikiven laitospaikalla

Janika Tang
Fennovoima Oy

Fennoskandian todennäköisyysperusteiseen seismiseen hasardilaskentaan liittyy paljon epävarmuutta. Tässä diplomityössä keskityttiin menetelmien tarkasteluun ja kehitykseen. Käytännön sovelluksena työssä oli FH1-laitoksen suunnittelumaanjärityksen määrittämisen herkkyytstarkastelu.

There are many factors of uncertainty in the Fennoscandian probabilistic seismic hazard assessment. This article summarizes Master's thesis that focused on the review and development of the current methodology. The developed methods were applied to the sensitivity analysis of the FH1 plant design basis earthquake.

Energia-yhtiö Fennovoima suunnittelee ydinvoimalaitoksen rakentamista Hanhikivenniemielle Pyhäjoelle. Jo rakentamislupavaiheessa täytyy osoittaa voimalaitoksen kestävä alueella esiintyvät maanjäristykset. Suomessa YVL-ohjeet [1] käytännössä vaativat seismisten riskien arviointiin käytettävän todennäköisyysperusteista seismisen hasardin arviointia (PSHA).

Ohjeet eivät kuitenkaan sisällä täsmällisiä vaatimuksia käytettävistä menetelmistä tai standardeista, joten menetelmien valinta jää luvanhakijan ja -haltijan vastuulle. Fennovoima onkin jo vuosien ajan tehnyt tutkimuksia tulevan laitospaikan seismisen hasardin määrittämiseksi.

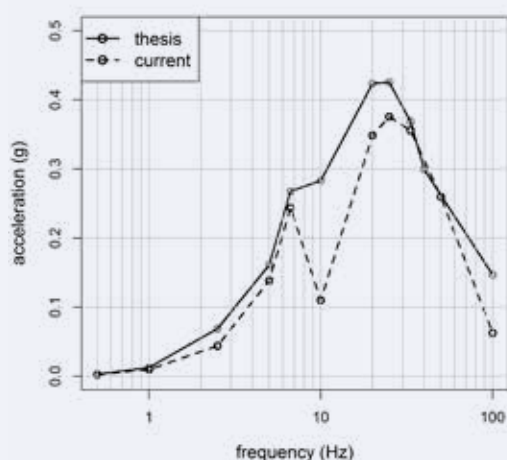
Menetelmätutkimusta

Diplomityössä tarkasteltiin Hanhikivi 1 -laitoksen PSHA:n merkittävimpien lähtöparametrien eli maksimimagnitudin ja maanvaimennusyhtälöiden (GMPE) määrittämistä. Maksimimagnitudi kuvaa suurien energiasta mahdollista maanjäristystä tutkitulla alueella ja maanvaimennusyhtälö kohdealueen kiihtyvyyttä, kun järityksen etäisyys ja momenttimagnitudi (R , M_w) tunnetaan.

Työssä korjattiin tämänhetkisen PSHA:n väärin lasketut Kijko-menetelmään pohjautuvat painokertoimet ja demonstroitettiin painotusten laske- mistavan heikkouksia. Hasardilaskennan logiikkapuuhun sisällytettiin kaksi uutta GMPE:tä, joista ensimmäinen on vastikään Fennoskandian oloihin kehitelty muunnettu G16 GMPE [2] ja toinen johdettiin Dahle-funktiosta [3] osana diplomityötä. Muunnettu Dahle GMPE kalibroitiin Fennoskandian olosuhteisiin, jossa sen on arvioitu soveltuvan $R \leq 200$ km ja $M_w \leq 6,5$ alueella. Muunnettu Dahle GMPE vaikutti vertailujen perusteella aliarvioivan hie- man maan liikettä matalan magnitudin järityksille lähietäisyydellä, minkä vuoksi GMPE sisällytettiin logiikkapuuhun pienemmällä painokertoimella.

Maavastespektien herkkyytstarkastelua

Työssä ajettiin EZ-FRISK-ohjelmistolla seismiset hasardianalyysit, jois- ta koostettiin logiikkapuuta vastaavat maavastespektit. Maavastespekti



Kuva 1. Laitossuunnittelussa sovellettava suunnittelumaanjäritys pohjautuu laskettuun mediaanimaavastespektriin esiintymistajuuudella 10^{-5} /vuosi. Kuvaajassa on esitettyä diplomityössä ja tämänhetkessä Hanhikivi 1 PSHA:ssa lasketut 10^{-5} /vuosi -esiintymistajuuuden mediaanikäyrät.

kuva tietyllä esiintymisaikataajuudella laitospaikalla havaittua kiihtyvyyttä järjestyksen taajuuden funktiona. Vertasimme diplomityössä laskettuja maavastespektrejä nykyisiin Hanhikivi 1 -laitoksen maavastespektreihin (kuva 1) ja suoritimme herkkyystarkastelua GMPE:iden ja maksimimagнитudin suhteen. Yhteenvetona työ paransi ymmärrystämme näistä para-

metreista ja PSHA:n herkkyydestä niille, mutta työssä tunnistettiin myös ongelmia parametreihin liittyen.

Diplomityö on hyväksytty Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulussa lokakuussa 2019.

Viitteet

- [1] Säteilyturvakeskus (STUK). Ohje YVL B.7, Varautuminen sisäisiin ja ulkoisiin uhkiin ydinlaitoksessa, 2013.
- [2] L.A. Fülöp, V. Jussila, R. Aapasuo, T. Vuorinen, and P. Mäntyniemi. A Ground-Motion Prediction Equation for Fennoscandian Nuclear Installations. SAFIR2018 - The Finnish Research Programme on Nuclear Plant Safety 2015-2018 Final Report, VTT Technology, 349:422-433, 2019.
- [3] A. Dahle, H. Bungum, and K.B. Kvamme. Attenuation Models Inferred from Intraplate Earthquake Recordings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19:1125-1141, 1990.

Kirjoittaja



DI Janika Tang
Ydinturvallisuusinsinööri
Fennovoima Oy
janika.tang@fennovoima.fi

Katsotko maailmaa insinöörin silmin?

Huipputekijöille on merkittäviä tehtäviä tarjolla yhdessä Suomen suurimmista projekteista. Katso avoimet työpaikat: fennovoima.fi/rekry

FENNOVOIMA

Handwritten notes in the image include:
 - A diagram of a tooth with text: "hammaskiille eli adamantiini" and "kovuus 167 GPa (±6)".
 - A crystal structure diagram with text: "Atomien osuus kiteen viemästä tilasta on" and the formula $\frac{\sqrt{3}}{16} \approx 0,34$.
 - A chemical structure diagram of ethanol (C₂H₆O) with the formula $V = \frac{\pi r^2 \cdot h}{3}$ and a vertical scale from 25 to 100.

Dissertation: Optical Stand-Off Detection of Alpha Radiation in Nuclear Facilities

Thomas Kerst
Photonics Laboratory, Tampere University

Numerous nuclear power plants reach the end of their lifetime and must be decommissioned. The unprecedented large number of upcoming decommissioning projects require to replace traditional contamination detection technologies with faster and more economical alternatives. Optical alpha radiation detection is one of those technological alternatives. However, lower-than-required sensitivity levels keep it from being used in decommissioning. This dissertation addresses this limitation using gas manipulation and experimentally demonstrates that it can improve device sensitivity sufficiently well.

Useat ydinvoimalaitokset ovat käyttöikänsä päässä ja laitokset täytyy käytöstäpoistaa. Käytöstäpoistettavien laitosten suuren määrän takia perinteisten kontaminaatiomittausmenetelmien tilalle on kehitettävä nopeampia ja taloudellisempia vaihtoehtoja. Optinen alfasäteilyn mittaaminen on yksi tällaisista vaihtoehdoista. Menetelmän vaadittua alhaisempi herkkyys on kuitenkin estänyt sen käytön käytöstäpoistusovelluksissa. Tässä väitöskirjassa keskitytään herkkyyden parantamiseen kaasunkäsittelyn avulla ja kokeellisesti näytetään että menetelmän herkkyyttä voidaan parantaa vaaditun verran.

Optical alpha radiation detection is a technology capable of detecting alpha radiation from a distance larger than the travel distance of an alpha particle itself. It works by collecting the light the particle produces when being slowed down, rather than interacting with the particle directly. The radiation-safety advantage of such a technology is obvious - not needing to come in contact with hazardous radiation is always a plus.

Another benefit lies in the optical approach's ability to detect alpha radiation much more rapidly than a contact-based approach ever could. Imagine the following: A room the size of a 4-person office needs to be tested for the presence of alpha radiation. There are two ways to go about doing this. One is using a contact-based approach, which would result in having to carefully swipe over every surface and through every nook, notch and neck of every item in the room, just for those swipe tests to be analysed for their contamination. The other way of going about testing the room is choosing an optical approach. Choosing such an approach would require to place a special camera in the doorway that finds sources of radiation by looking inside the possibly contaminated room. If one can assume that both methods perform equally well, then the decision to make is a simple one.

Even though an optics-based approach has taken as its face value little downsides, there is a case to be made that purchasing new equipment and replacing the standard swipe tests is not worth the

savings. The argument is certainly valid for the case of a single detection/decontamination task. However, the savings that can be had scale well to many such detection/decontamination cases. And this makes optical detection a viable option for the many instances of nuclear decommissioning the nuclear community is facing. The remainder of this article outlines the fundamentals of optical alpha radiation detection and its purported uses in decommissioning. Given the brevity of such an article, it cannot possibly cover all the details and intricacies and neither should it. The interested reader is referred to the doctoral dissertations of Sand [1] and Kerst [2] for a more in-depth discussion of the matter.

Seeing Alpha Radiation

The first recorded detection of alpha radiation happened optically. When Henri Becquerel placed uranium salt on photographic plates, he noticed that the photographic plates blackened. Many years later it would become clear that the plates blackened because they were exposed to photons that had been created in the vicinity of the alpha active U-238. The light whose creation was mediated by the presence of ionising radiation would become known as radioluminescence. Though optical detection of alpha radiation was the first means to detect alpha

radiation, it quickly lost its significance as a means of detection to the much more sensitive and easier-to-use ionisation chambers.

Historically speaking, ionisation chambers are preferable over optical detection for good reasons. A single alpha particle stopped in ambient air creates about 100 photons, most of which are ultraviolet (UV), perhaps 1 or 2 blue in colour. As a result, optically detecting an alpha contamination of say 10 Bq from 1 m distance presents something of a challenge. The few available photons travel in random directions away from the source, of which only a small fraction has the chance to strike the detector. And this description does not even account for the problems of detector noise and background lighting. It is not difficult to see that 'remote detection' tended to be a matter of taking swipe tests, perhaps with a small robot, and then testing those swipes for their contamination.

Nonetheless, developments in photomultiplier tube (PMT) technology, the advent of charge-coupled devices (CCD) and advances in thin-film optics have made optical detection possible. Without going into too much technical detail, the procedure that has emerged to be practical consists of constructing sophisticated optics around a detector that is capable of detecting UV light. Using this apparatus to take two kinds of images of a contaminated area reveals sources of alpha radiation. One image is created collecting only visible light (VIS) and one image collecting only ultraviolet light. The UV image reveals alpha radiation and the VIS image its position in space. Fig. 1 shows such a procedure using the hypothetical scenario of three marbles on a table.

Lights On!

The creators of the technology enabling optical detection had to jump through numerous technological hoops and ladders. After all, when working with radioluminescence in air, every photon counts and contributes to the detection efficiency. The optics had to be made sensitive to as large a fraction of the radioluminescence spectrum as possible. Not collecting photons out of convenience is not an option.

The wavelengths of the photons that make up radioluminescence in air cover a spectral range of roughly 250 nm to 420 nm. Most of those photons are emitted as fluorescence from radioactively excited molecular nitrogen (N_2). At this point, the alert reader has already noticed the fly in the ointment: A system that genuinely collects all light between 250 nm to 420 nm necessarily also collects all the light that is not a form of radioluminescence, in which case one can no longer distinguish between radioluminescence and background. And light sources emitting at least in part on this spectral range are plenty. Almost all indoor light sources, certainly the incandescent ones, emit down to 400 nm or even lower. Sunlight reaching the earth's surface covers the entire spectrum of wavelengths longer than 280 nm.

Optical alpha detection using all the light available only works in total darkness. But it works rather well. A device constructed in Tampere was able to resolve an alpha surface contamination of 300 Bqcm^{-2} at 1 m distance using 10 s integration time. The same arrangement also works by only collecting UVC light (that is light with wavelengths shorter than 280 nm). This way, the device becomes neutral to changes in background lighting and can even operate when sunlight was present. The system is said to be rendered solar blind. Operating the device in this way enables it to detect alpha radiation under almost any background lighting, but at the same time worsens the sensitivity to 60 kBqcm^{-2} [1].

Background lighting poses a dilemma for optical alpha detection in decommissioning. If the technology is to be used in decommissioning, then in the simplest case, it ought to be able to classify objects as either 'alpha contaminated' or 'not alpha contaminated'. The limit

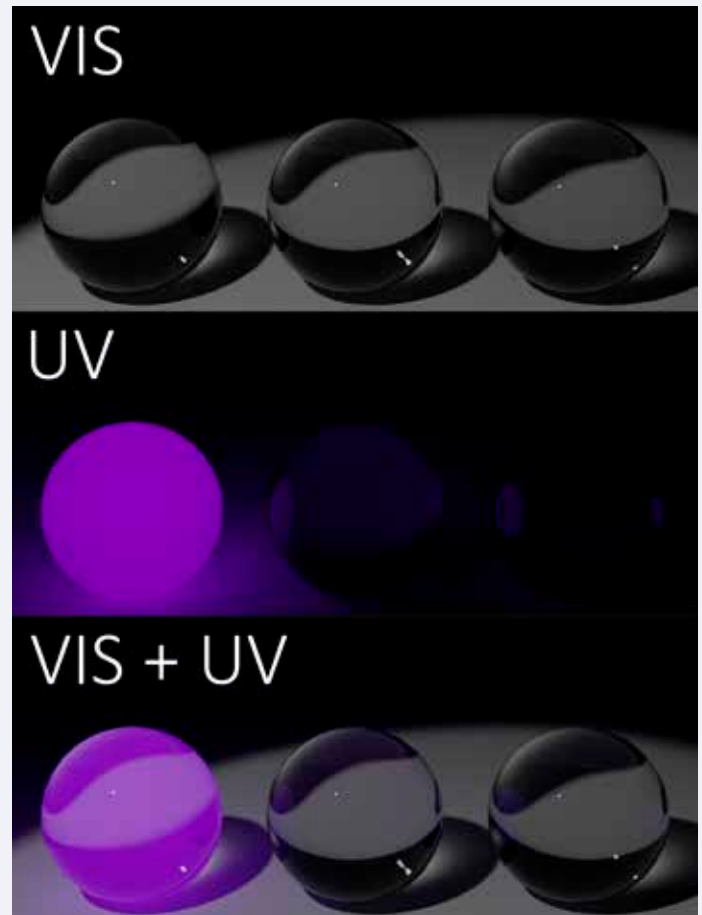


Figure 1. Illustration of the principle by which alpha radiation can be detected optically. The illustration shows the steps that are necessary to find among three identical marbles the one that is alpha contaminated. In such a scenario, a regular image of all three marbles using visible light (VIS) would be taken. Then the same scene would be imaged using only ultraviolet light (UV). Finally, superimposing both images (VIS + UV) would reveal that the leftmost marble is alpha contaminated.

along whose lines the classification is made is set by a power plant's responsible radiation security authority. Those limits tend to be on the order of tens of Bqcm^{-2} , at times even smaller. Optical alpha detection can meet those limits in a dark environment using long integration times. Optical alpha detection operating in ambient lighting has difficulty meeting those limits. The latter version of the technology, the solar blind version, is arguably the version interesting for decommissioning tasks, given that one rarely has the option to make an area of a nuclear facility sufficiently dark.

NO Radioluminescence

Optical alpha radiation detection can operate in one of two ways. In one way, a user takes the pains and makes an area under investigation dark. So dark indeed, that not a single photon of stray light can enter it. Or the user decides that such a darkening is not worth the effort and resorts to detecting UVC light only, thereby accepting a much-worsened

sensitivity. Faced with these options, one could argue that optical alpha detection is not worth the effort and does not bring about the needed savings in time and expenses to justify its implementation.

The solution to this problem is found by considering that contaminated material tends to be handled in glove boxes. Such boxes contain a controlled atmosphere which typically consists of either pure Ar or pure N_2 . If one could alter those atmospheres every so slightly, as a small intervention in an already running system of sorts, then perhaps the problem of low sensitivity could be overcome. The indication that indeed this is possible comes from a study reaching as far back as 1966 [3], shortly after nuclear research was opened to civil institutions. The implication of the study is the following: If a few in a million N_2 molecules in an otherwise pure N_2 atmosphere were to be replaced with NO molecules, then the UVC radioluminescence intensity would see a substantial increase.

Such an increase in UVC radioluminescence would be the last missing piece in a technology that enables rapid optical detection of alpha radiation from a safe distance. The promise of solving the background lighting problem by such ostensibly simple means merited an entire doctoral dissertation [2], carried out in the premises of Tampere University. There, settings like the ones found in nuclear facilities during nuclear decommissioning were replicated, and the precise conditions under which UVC radioluminescence amplification could be achieved were studied. Fig. 2 shows such a replication where a very weak alpha emitter sits in a gas-controlled box, much like the boxes found in nuclear facilities. A UVC sensitive scanner and camera are placed in front of the box to image radioluminescence. The scene shows the process of an active measurement. Noticeably, the measurement happens in a fully illuminated laboratory.

The experiments confirmed the implications of the 1966 paper in that adding an ever so small number of NO molecules makes a significant difference in the amount of UVC light produced. To this date, the UVC light production had been amplified by four orders of magnitude, thereby improving the UVC detection limit of the detector mentioned above to less than 10 Bqcm^{-2} . There is plenty of reason to assume that this level of amplification is not the achievable maximum. Many intricacies of the mechanisms that lead to the increase are not yet understood. What has been understood so far, is that the combination of small amounts of NO in otherwise pure N_2 make an alpha particle convert its kinetic energy with an efficiency of many percents into excitations of the NO molecules. Those excitations then decay by emitting UVC light. Compared to pure N_2 , where this conversion happens with an efficiency of about 0.001%, this increased conversion efficiency is a marked improvement.

In Practice

Custom-tailored UVC optics and gas manipulation enable rapid optical alpha detection. The detection works from a safe distance and can localise alpha radiation inside a glove box. Further, experiments with NO radioluminescence had been conducted that demonstrate UVC amplification in ambient air, provided that certain conditions were met. With this knowledge at hand, the options for application abound.

The first use case is the one that motivated the research all along - nuclear decommissioning. By placing a UVC detector in front of a UV transparent viewport of a glove box containing a slightly altered N_2 atmosphere, one would have the option to track all alpha sources in the box in real-time. It could work under bright illumination, and be-

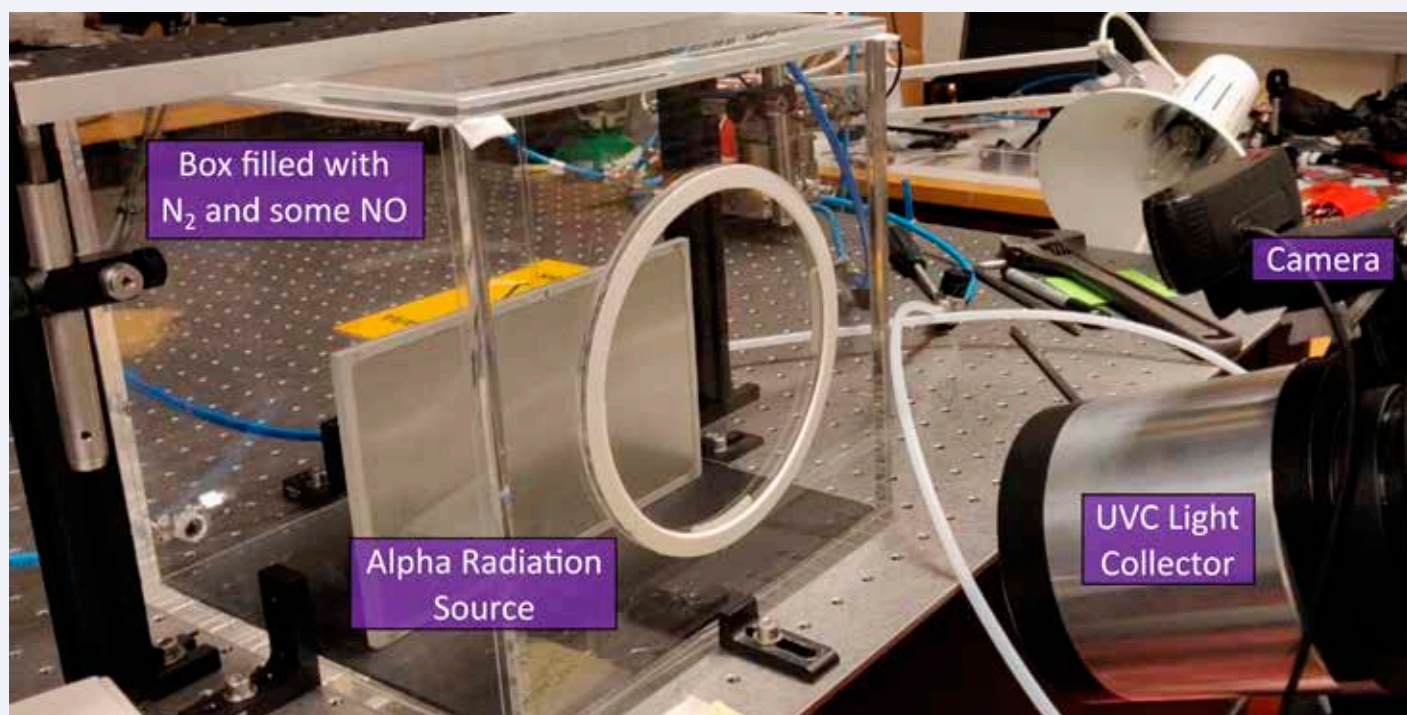


Figure 2. Labeled photo of a NO radioluminescence measurement in progress. An alpha emitter is located in an atmosphere-controlled acrylic box. Radioluminescence emanating inside the box leaves it through a quartz glass window, where it is picked up by a UVC light collecting optics. Mechanically rotating the optics and the attached camera enables to produce an overlay image, thereby revealing even faint alpha radiation. The setup also works without the box, thereby imaging N_2 radioluminescence.

sides minor alterations of the gas atmosphere, there is little intrusion into the work routines around the box. No swipe test would be needed. No confinement would have to be broken. Experiments testing such applications are already being carried out in the premises of the JRC in Karlsruhe.

One implementation of NO radioluminescence has already come to humble prominence [4]. In August of this year, one of the so-called Heisenberg cubes found its way to Tampere. A Heisenberg cube is one of many identical cubes made of pure U-238 that formed the core of the nuclear program of the National Socialists. Today the cubes are no longer made of pure U-238, as they have ingrowths of daughter nuclei, and their surfaces are oxidised. Nevertheless, one such cube found its way to Tampere to image its alpha radiation. U-238 has a long half-life and emits only few alpha particles. The fact that many of those particles do not penetrate the oxidation layer lowers the alpha yield even further. As a result, a highly sensitive detection scheme was used to image the radiation. The team imaging the cube, which included the author who constructed the experiment, succeeded in their task. Fig. 3 shows the overlay image of the experiment, clearly showing the cloud of radioluminescence. Mixing NO into the N₂ atmosphere was instrumental in imaging the alpha radiation. In a strange twist of fate, history comes full circle - optical alpha detection started with U-238, which is precisely where its story ends. At least for now.

The doctoral dissertation "Optical Stand-Off Detection of Alpha Radiation in Nuclear Facilities" by Thomas Kerst was successfully defended on 4th of October 2019 at Tampere University. The Faculty of Engineering and Natural Sciences approved the dissertation on 23rd of October 2019.

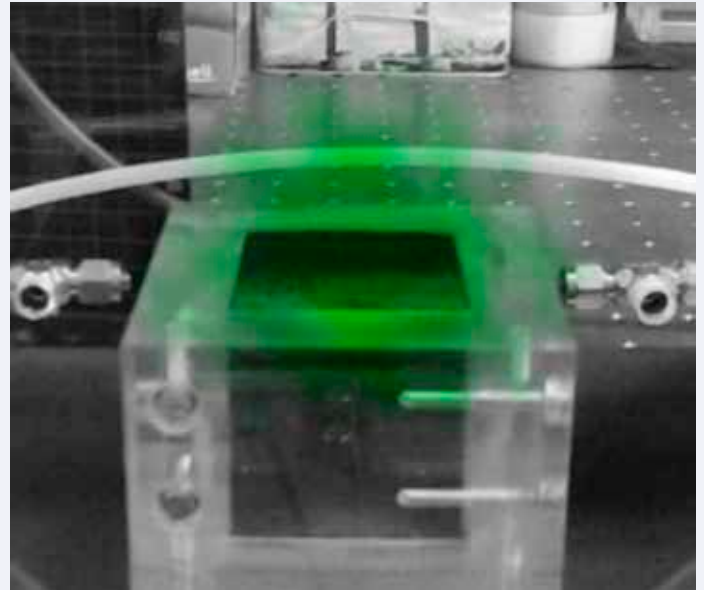


Figure 3. Image of the NO radioluminescence (green) emanating above a U-238 cube. U-238 has a half-life of billions of years and thus emits very little alpha radiation. The cube shown in the picture had an oxidised surface layer, thus further reducing the number of alpha particles producing radioluminescence. NO rather than N₂ radioluminescence was used to reveal the presence of alpha radiation above the uncovered surface of the cube.

References

- [1] Johan Sand. Alpha Radiation Detection via Radioluminescence in Air. PhD Thesis, Tampere University of Technology, 2016.
- [2] Thomas Kerst. Optical Stand-Off Detection of Alpha Radiation in Nuclear Facilities. PhD Thesis, Tampere University, 2019.
- [3] S Dondes, P Hardeck, C Kunz. A spectroscopic study of alpha ray induced luminescence in gases: part I. Radiation Research, 27:174-210, 1966.
- [4] Aamulehti. Natsi-Saksa yritti ydinreaktiota satojen uraanikuutioiden avulla: vain muutama on enää jäljellä, ja nyt yksi niistä on Tampereella, 2019.

Writers



Dr. Thomas Kerst
Photonics Laboratory
Tampere University
thomas.kerst@tuni.fi

Diplomityö:

Loviisan polttoainesauvojen mallintaminen LOCA-olosuhteissa TRANSURANUS-ohjelmalla

Olli Hyvönen
Fortum Power and Heat Oy

Diplomityössä mallinnettiin TRANSURANUS-polttoaineenmallinnusohjelmalla Haldenin tutkimusreaktorissa vuosina 2007 ja 2010 suoritettuja jäähdytteenmenetysonnettomuuskokeet IFA-650.6 ja IFA-650.11. Kyseisissä kokeissa käytettiin Loviisan ydinvoimalaitoksella vuosien 1998 ja 2002 välisenä aikana säteilytetystä polttoainesauvasta leikattuja sauvasegmenttejä.

In this master's thesis, LOCA tests IFA-650.6 and IFA-650.11 performed in Halden research reactor in 2007 and 2010 were simulated with TRANSURANUS fuel performance code. Both LOCA tests used rod segments of a fuel rod which was irradiated at Loviisa NPP in 1998 to 2002.

Painevesilaitoksissa suuren jäähdytteenmenetysonnettomuuden (LBLOCA) alkutapahtuma on primääripiirin pääkiertoputken täydellinen katkeaminen. Katkeamisen seurauksena jäähdytteen paine reaktorissa pienenee hyvin nopeasti, mikä johtaa reaktorin pikasulkuun, jäähdytteen kiehumiseen ja lopulta polttoainesauvojen paljastumiseen. Polttoainesauvojen tuottaman jälkilämpötehon ja merkittävästi heikentyneen jäähdytyksen vuoksi polttoainesauvojen suojakuorten lämpötilat kasvavat nopeasti. Korkeissa lämpötiloissa suojakuoren mekaaniset ominaisuudet heikkenevät, ja onnettomuuden edetessä paine reaktorissa tippuu alle sauvojen sisäisen paineen arvon, mikä saattaa johtaa polttoainesauvojen pullistumiseen ja puhkeamiseen. Tämän lisäksi suojakuorimateriaalin hapettuminen korkeassa lämpötilassa ja höyryrikkaassa ympäristössä on nopeaa. Merkittävästi hapettunut suojakuori saattaa murtua lämpöshokin seurauksena reaktorin hätäjäähdytysjärjestelmän täyttäessä reaktorin uudelleen vedellä.

LOCA-kokeiden IFA-650.6 ja IFA-650.11 mallintaminen

Haldenin tutkimusreaktorissa suoritetuissa LOCA-kokeissa IFA-650.6 ja IFA-650.11 käytettiin noin 500 millimetrin mittaisia säteilytettyjä sauvasegmenttejä. Molemmista kokeista sauvasegmentin sisäistä painetta mitattiin paineanturilla ja suojakuoren lämpötilaa mitattiin termopareilla 100 mm ja 400 mm korkeuksilta. Molemmista kokeista suojakuori pullistui ja lopulta puhkesi, ja puhkeamisajankohta pystyttiin määrittämään paineanturin keräämän datan avulla.

TRANSURANUS on JRC Karlsruhen kehittämä laskentaohjelma polttoaineen käyttäytymisen mallintamiseen normaaliolosuhteissa sekä onnettomuustilanteissa. TRANSURANUS on ns. "1.5D" laskentakoodi, sillä varsinaisen laskentasuunnan (radiaalinen) lisäksi polttoainesauva voidaan jakaa useampaan toisiinsa joidenkin fysikaalisten suureiden (esim. kaasun paine sauvan sisällä ja aksiaalinen muodonmuutos) osalta kytkettyyn aksiaalimoodiin.

Jäähdytteenmenetysonnettomuuden mallintaminen TRANSURANUS-ohjelmalla edellyttää suojakuoren aikariippuvan lämpötilajakauman antamista reunaehtona. Kokeista kerättyjen lämpötilamittausten ja puhkeamiskorkeuden tiedon avulla muodostettiin suojakuorelle suuri joukko

toisistaan hieman poikkeavia aikariippuvia aksiaalisia lämpötilajakaumia, joita käytettiin TRANSURANUS-laskujen lähtötietoina. Lämpötilajakaumat generoitiin sovittamalla paloittain määritelty 2. asteen polynomisovite termoparien dataan sekä niistä ekstrapoloituihin lämpötila-arvoihin, joita olivat suojakuoren maksimilämpötila sekä lämpötilat sauvasegmentin päissä. Maksimilämpötilan sijainnin oletettiin pysyvän paikallaan koko kokeen ajan lähellä mitattua puhkeamiskohtaa. Toisistaan hieman eroavat lämpötilajakaumat luotiin varioimalla sekä maksimilämpötilan sijaintia suojakuorella että maksimilämpötilan ja mitatun lämpötila-arvon absoluuttista eroa.

Tulosten osalta keskityttiin suojakuoren puhkeamisajan sekä muodonmuutosten vertailuun kokeiden ja TRANSURANUS-laskujen välillä. Muodonmuutosten osalta TRANSURANUS-laskut ja mittaukset antoivat yhteenväisiä tuloksia. Mallinnoissa suojakuori sen sijaan puhkesi systemaattisesti aiemmin kuin mitä kokeissa oli mitattu. Reunaehtona käytetyn lämpötilajakauman todettiin käytännössä yksiselitteisesti määräävän suojakuoren puhkeamisajankohdan ja sen sijainnin.

Diplomityö on hyväksytty Aalto-yliopistossa huhtikuussa 2019.

Kirjoittaja



DI Olli Hyvönen
Polttoaineinsinööri
Fortum Power and Heat Oy
olli.hyvonen@fortum.com

Palautusosoite:

Suomen Atomiteknillinen Seura
PL 78
02151 ESPOO



KANNATUSJÄSENET

A-Insinöörit Civil Oy

**Pohjoismainen
Ydinvaruutuspooli**

TVO Nuclear Services Oy

Fennovoima Oy

Pohjolan Voima Oyj

Voimaosakeyhtiö SF Oy

FinNuclear ry

Posiva Oy

Wärtsilä Projects Oy

**Fortum Power
and Heat Oy**

**Teknologian
tutkimuskeskus VTT Oy**

Westinghouse

Platom Oy

Teollisuuden Voima Oyj