

ATS

2|2015

Vol. 44

YDINTEKNIikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

FiR 1 sammutettiin viimeisen kerran

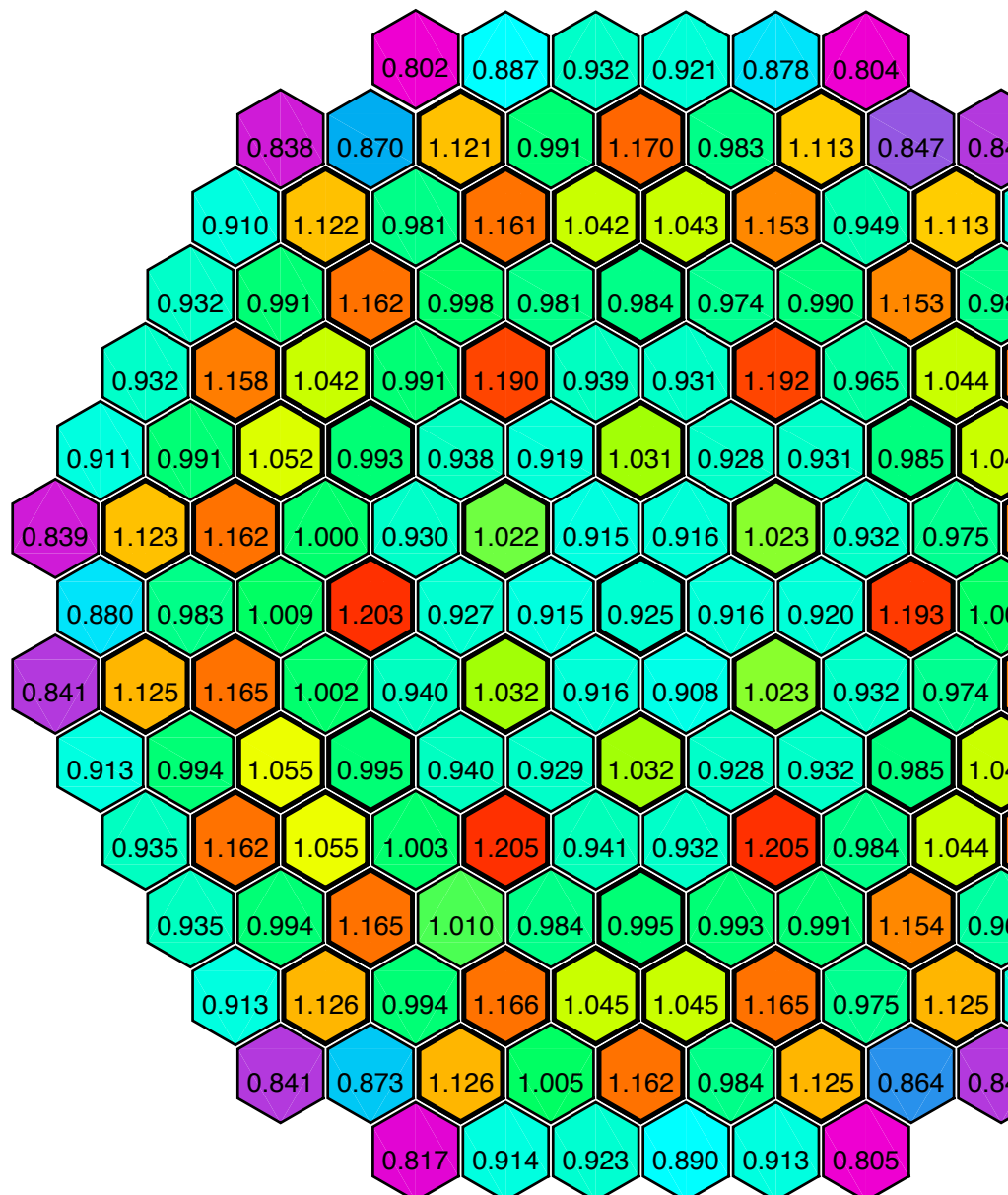
Suomen ensimmäisen ydinlaitoksen käytöstäpoisto alkaa.

Lämpöliikkeen vaikutus vuorovaikutustodennäköisyyksiin

Väitöstyössä kehitettiin tehokas menetelmä lämpötilajakaumien mallinnukseen Monte Carlo-neutronikuljetuslaskuissa.

Suomen Ekomodernistit

Ympäristöjärjestö, joka huomioi ydinvoiman osana energiaratkaisua.



Julkaisija / Publisher

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

Johtokunta / Board

Puheenjohtaja / President

DI Kai Salminen
puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja / Vice President

TkT Filip Tuomisto
filip.tuomisto@aalto.fi

Sihteeri / Secretary General

DI Henri Loukusa
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Lauri Pyy
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

Jäsenet / Board Members

DI Ilkka Männistö
ilkka.mannisto@fennovoima.fi

DI Tuomas Rantala
tuomas.rantala@tvo.fi

FL Lasse Koskinen
lasse.koskinen@posiva.fi

Toimihenkilöt / Functionaries

ATS Young Generation

DI Henri Ormus
henri.ormus@fennovoima.fi

Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

TkT Jari Tuunanen
jari.tuunanen@fortum.com

Energiakanava / Energy Channel, WiN Finland

TkT Liisa Heikinheimo
liisa.heikinheimo@tvo.fi

Ekskursios sihteeri / Excursions

DI Ville Lestinen
ville.lestinen@fortum.com

www-vastaava / Webmaster

TkT Heikki Suikkanen
webmaster@ats-fns.fi

ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkL Eero Patrakka
eero.patrakka@kolumbus.fi

Toimitus / Editors

Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

DI Anna Nieminen
anna.nieminen@vtt.fi

Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

TkT Liisa Heikinheimo
liisa.heikinheimo@tvo.fi

Toimitussihteeri / Lay-out Editor

Katariina Korhonen
Suunnittelutoimisto Creatus
katariina@creatus.fi

Toimitus / Editorial Staff

DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@welho.com

DI, FM Anna-Maria Länsimies
anna-maria@lansimies.com

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

DI Lauri Rintala
lauri.rintala@fennovoima.fi

DI Eveliina Takasuo
eveliina.takasuo@vtt.fi

TkT Vesa-Matti Tikkala
vesa-matti.tikkala@fortum.com

DI Risto Vanhanen
risto.vanhanen@aalto.fi

Toimituksen yhteystiedot

ATS Ydintekniikka

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

Painopaikka

Wellprint Oy, Espoo

ISSN-0356-0473

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

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

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

Käännekohtia alalla

Mennyntä kesä on ollut mielenkiintoinen sekä ydinvoima-alalla työskenteleville että alaa seuraaville. Fennovoiman rakentamislupahakemuksen jättäminen piti sisällään yllättäviä käännteitä, joita pyöriteltiin kiivaasti eri medioissa. ATS Ydintekniikassa päätettiin jättää tämän teeman laajempi käsittely vielä tässä vaiheessa. Palaamme asiaan tarkemmin seuraavassa numerossa, kun pyöritys on laantunut ja kiinnostus hankkeen yksityiskohtiin, muutoinkin kuin omistusjärjestelyjen osalta, jälleen palautuu.

Ehkä hieman Fennovoiman varjoon jäi alan toinen merkittävä uutinen: ”Suomen ensimmäisen ydinreaktorin hehku sammuu”, kuten VTT Oy totesi lehdistötiedotteessaan. Tämän lehden sivuilla tutkimusreaktori pääsee vuorostaan päärooliin. FIR 1:n viimeisessä sammutuksessa konkretisoitui tietyllä tapaa vähintään ydinenergian tutkimuskentän muutos. Todellisuudessa muutos on alkanut paljon

aiemmin ja yhtenä ajavista voimista on ollut globaali taloustilanne.

Tuntuu, että taloudelliset resurssit niukkevat jatkuvasti. Tällä hetkellä poliittisilla päätöksillä tavoitellaan yksikkötyökustannusten pienentämistä. Ydinvoima-alalla puolestaan panostetaan voimakkaasti uuden tutkimusinfrastruktuurin kehittämiseen; toivottavasti sitä ei jouduta tekemään intellektuellin pääoman kustannuksella. Uusvanha kolumnistimme Anna-Maria Länsimieskin oli hieman tähän liittyen pannut merkille, että useita kokeneita alamme asiantuntijoita on siirtynyt töihin joko muille toimialoille tai ulkomaille. Alalla on siis tilaa uusille osaajille: myös ATS Ydintekniikka etsii edelleen pakinoitsijaa Turvallisuusinsinöörin paikkaa täyttämään. Potentiaalisia kynäniikkoja saa mielellään ilmiantaa päätoimittajalle.

VTT:n ydinturvallisuustutkimusalueen päällikkö Timo Vanttola totesi aiheellisesti pääkirjoituksessaan, että Fennovoiman hankkeen



jatkuminen tuo alalle kaivattua vipinää. Mikäli vain ylläpidettäisiin vanhaa, kasvu ja kehitys pysähtyisivät. Nyt mennään eteenpäin ja on syy investoida myös osaamiseen ja sen kehittämiseen. Toivotaan, että uutta vipinää syntyy myös uusista osaajista.

Anna Nieminen

Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Käännekohtia alalla.....	3
Pääkirjoitus: Ydinenergian tutkimuskenttä muuttuu – mitä edessä?.....	4
Editorial: The field of research in nuclear energy is changing – what is ahead of us?.....	5
Kolumni: Suorituskyky ratkaisee.....	31

Tapahtumat

ATS YG Summer Symposium kokooa vuosittain ydinvoima-alan nuoret.....	18
Euroopan ydinenergia- tutkimuksen johtajat Suomessa.....	23
Ihmisen käyttäytymisen merkitys turvallisuuskriittisillä aloilla.....	28

Ajankohtaista

Nuclear for Climate – tapahtumat ja toimijat julistuksen ja periaate- paperin takana.....	6
Uusi ympäristöjärjestö Suomen Eko- modernistit perustettiin kesäkuussa.....	8
Jäähyväiset Trigalle.....	13
Tarinoita tutkimusreaktorilta.....	14
Syöttövesilinjojen sekoituskohtia uusittiin Olkiluodon vuosihuolloissa.....	20

Tiede ja tekniikka

Suomen ensimmäisen ydinlaitoksen käytöstäpoistoon liittyä haasteita.....	10
<i>Markus Airila, Olli Vilkkamo</i>	
Väitös: Tehokas menetelmä lämpötilajakau- mien mallinnukseen Monte Carlo -neutronikuljetuslaskuissa.....	16
<i>Tuomas Viitanen</i>	

Testing and modelling of phenomena arising in an aircraft impact against concrete structures.....	25
<i>Ari Vepsä, Kim Calonius, Arja Saarenheimo</i>	

Diplomityö: Uuden Apros-neutroniikka- mallin validointi.....	30
<i>Joona Leskinen</i>	

ATS:N UUDET JÄSENET

ATS:n johtokunta ei ole hyväksynyt uusia jäseniä edellisen numeron ilmestymisen jälkeen.

Ydinenergian tutkimuskenttä muuttuu – mitä edessä?

SUOMEN YDINENERGIATUTKIMUS on koko olemassa olonsa aikana pyrkinyt vastaamaan konkreettisiin viranomaisten ja ydinenergian tuottajien tarpeisiin. Niinpä se on tuottanut suoraan sovellettavia menetelmiä, laitteistoja, tutkimustuloksia ja samalla osaajia koko sektorille. Moneen muuhun tutkimusalaan verrattuna ydinenergiatutkimus on voinut vaikuttaa staattiselta, mikä johtuu alan pitkistä sykleistä ja ehkä myös turvallisuusajatteluun sisältyvästä varovaisuusperiaatteesta. Nyt kuitenkin ollaan monessa mielessä käännekohdassa.

VTT:n tutkimusreaktori FIR 1 sammutettiin kesäkuun lopussa. Edessä on ensimmäinen ydinlaitoksen käytöstäpoisto Suomessa. VTT joutuu panostamaan tähän ja laajentamaan osaamistaan sekä turvautumaan alan muihin toimijoihin. Rinnakkaisena hankkeena on etenemässä VTT:n Otakaaren kuumakammioiden käytöstäpoisto.

Uusi Otaniemeen sijoittuva ydinturvallisuustalo on maamme mittakaavassa ennennäkemätön ydinturvallisuustutkimukseen kohdistuva voimainponnistus. Tilojen kokeelliset valmiudet tulevat viemään erityisesti säteilytettyjen materiaalien tutkimuksen uudelle tasolle. Edessä on myös uusien toimintatapojen omaksuminen ja henkilökunnan kasvattaminen. Samalla tutkimusvolyyymia on kasvatettava merkittävästi ja asiakaskuntaa laajennettava ulkomaiden suuntaan.

Myös tässä aihepiirissä kotimaiseen yhteistyöhön on panostettava uudella otteella; ovathan voimayhtiömme hankkeen merkittävimmät rahoittajat ja toisaalta laitostemme mahdollisiin akuutteihin tutkimustarpeisiin on pystyttävä vastaamaan parhaalla mahdollisella tavalla. Vaikka kaupallisten toimeksiantojen merkitys kasvaa, on muistettava, että nämä tutkimusvalmiudet ovat edelleen keskeinen



perusta yhteisrahoitteiselle tutkimukselle, joka palvelee alan kaikkia toimijoita. Odotuksia on siis riittävästi, sekä organisaatioille että yksittäisille tutkijoille!

Jules Horowitz -tutkimusreaktorin rakentamiseen osallistuminen on myös tällä hetkellä kriittisessä vaiheessa: hanke on teknisesti ja turvallisuusvaatimusten osalta hyvin haasteellinen ja vaatii isoa rahapanosta, koska merkittävimmät komponentit ovat valmistuksessa.

Nämä kaikki tutkimuksen infrahankkeet ovat lähteneet liikkeelle jo vuosia sitten ja ovat osa alan tarpeellista uudistumista, koska maassa on tehty merkittäviä koko ydinenergian tuotantoon liittyviä jatkamispäätöksiä. Samaan aikaan suuri osa kokeneista tutkijoista on siirtymässä eläkkeelle, mistä seuraa iso koulutustarve. Tämä voi myös uudistaa alaa: uutta väkeä, uusia näkemyksiä, uusia toimintatapoja.

Mutta suunnilleen samaan aikaan on kehittynyt talouskriisi, joka näkyy nyt valtion puolella isoina kustannusten karsimistarpeina, eivätkä tutkimuslaitokset ja yliopistot ole säästyneet menossa olevilta rajuiltakin supistamistoimilta. Tämä syksy tulee näyttämään, miten ydinenergian tutkimushankkeet lähivuosina pärjäävät.

Fennovoiman hankkeen eteneminen, kaikista kiemuroistaan huolimatta, tuo myös tutkimuskenttään kaivattua vipinää: uusi innokas tutkijakunta pääsee vanhempien opastuksella tutustumaan uuteen laitostyyppiin. Vanhat vielä muistavat ja osaavat hyvin edellisen polven laitoksen piirteet, joten lähtökohdat tässä mielessä ovat hyvät.

Tkt Timo Vanttola

Ydinturvallisuustutkimusalueen päällikkö
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

The field of research in nuclear energy is changing – what is ahead of us?

THROUGHOUT HISTORY the research of nuclear energy has aimed to answer concrete questions for the needs of the authorities and power companies. Therefore it has produced methods, facilities, research results and also experts for the whole nuclear sector. Compared to many other fields of research, nuclear may seem static, which results from long cycles typical for the field and probably also from prudence principle inherent in nuclear safety. In many ways, we are in a turning point at the moment.

VTT's research reactor FiR1 was shut down in June. Now we are facing the first decommissioning and dismantling of a nuclear facility in Finland. VTT needs to invest in resources and adopt know-how and collaborate with other operators in the field. In parallel, VTT's old hot cells need to be disposed of.

Construction of The Centre for Nuclear Safety (CNS) at Otaniemi is a unique effort for nuclear research in our country. The new experimental facilities will bring especially the research of irradiated materials to the next level. New approach in working methods is needed, as well as staff needs to be increased. At the same time the volume of the research has to grow substantially and more customers are needed also from abroad.

As concerns the CNS, closer co-operation with the domestic power companies is essential. They are the major financiers of the new premises and on the other hand, their acute research needs have to be answered in the best possible way. Even though the importance of commercial assignments is growing, we have to remember that these facilities are still an essential foundation for the jointly funded research that serves every actor in the field. So, there are plenty of expectations both for the organisations and for individual researchers!

Participating in the constructing of the Jules Horowitz research reactor is also at a critical phase at the moment: the project is very demanding both technically and what comes to safety requirements. Currently it also needs significant financial input, since all the big components are being manufactured.

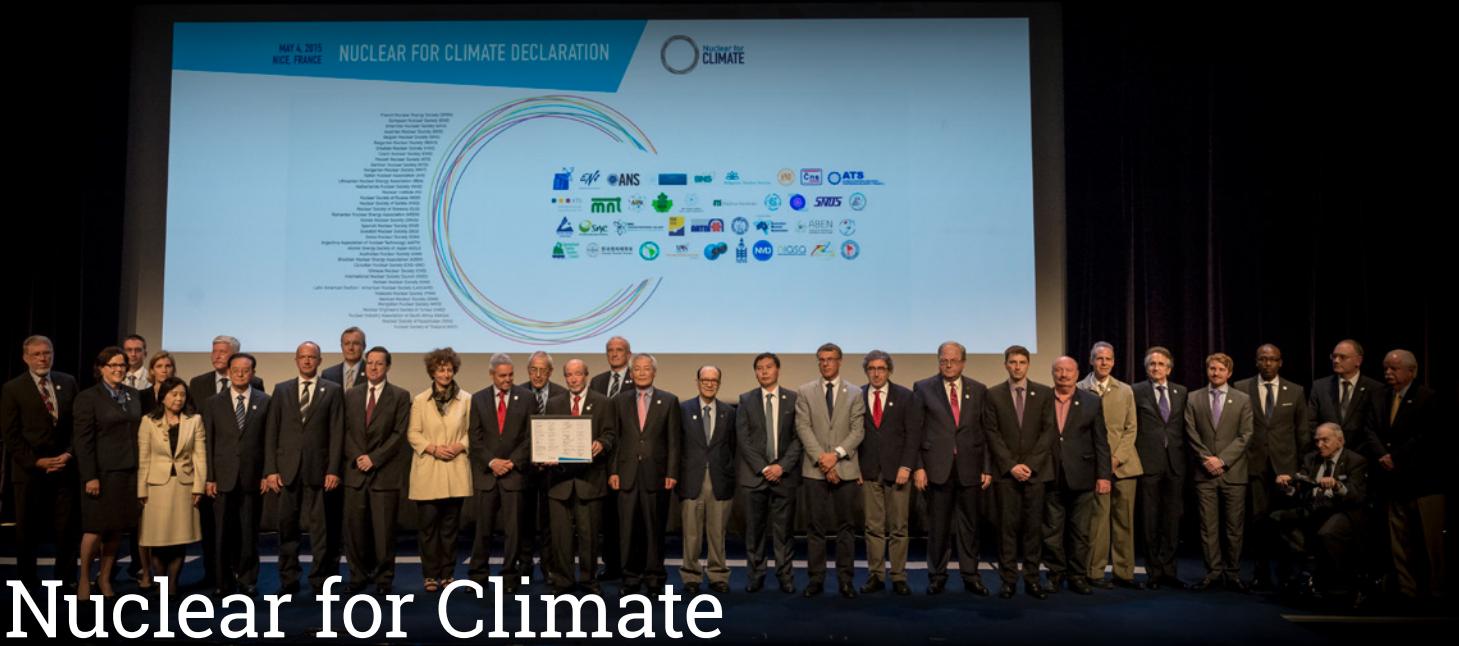
All these research infrastructure projects have been set out years ago and are part of the necessary regeneration of the field, since related to the production of nuclear power important decisions of continuation have been made in our country. At the same time, several experienced researchers are retiring which results in a notable need for education. This may also renew the field: new people, new viewpoints, and new working methods.

However, nearly at the same time the economic crisis has evolved. This has led the Government to cut costs and not even research institutes or universities have been saved from rough retrenchments that are ongoing. This fall will show us how projects related to nuclear power research will survive during the coming years.

The progress of the Fennovoima project, despite all the frills, will cause needed bustle also for research: new and eager generation of researchers will familiarize themselves with the new plant type with the help of older generation. The senior experts still know and remember the special features of the previous generation plants so the premises are good.

Dr.Sc. (Tech.) Timo Vanttola

Head of Nuclear Safety Research Area
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd



Nuclear for Climate

– tapahtumat ja toimijat julistuksen ja periaatepaperin takana

Viime kevään aikana alkoi ydinvoima-alan uutisissa ja tiedotteissa toistua käsite Nuclear for Climate ja 4. toukokuuta ATS allekirjoitti yhdessä 38 sisarseuransa ja muiden vastaavien yhdistysten kanssa Nuclear for Climate -julistuksen. Lisäksi Euroopan ydinvoimayhteisön Young Generation verkosto (ENSYGN) julkaisi kesäkuussa oman periaatepaperinsa. Monille on kuitenkin jäänyt epäselväksi, mistä hanke on alun perin lähtöisin ja keitä sen taustalla vaikuttaa.

Teksti: Laura Noukka



DI Laura Noukka
ENS-YGN yhdyshenkilö
ATS
laura.noukka@tvo.fi

RANSKAN ATOMITEKNILLISEN seuran (SFEN) Young Generationin varapuheenjohtajaa Martin Boissavit'tä pyydettiin kertomaan meille hankkeen taustoista ja etenkin YG:n roolista siinä. Martin on ollut aktiivisesti mukana hankkeessa sen alusta lähtien ja toiminut keskeisessä roolissa siihen liittyvän Young Generation toiminnan käynnistämässä ja pyörittämässä.

Mistä Nuclear for Climate -hankkeessa on oikein kyse? Milloin hanke sai alkunsa ja ketkä olivat käynnistämässä sitä?

Nuclear for climate on ruohonjuuritason hanke, joka tuo yhteen suuren joukon kansainvälisen ydinvoimayhteisön ammattilaisia ja tutkijoita. Hanketta koordinoidaan alueellisten ja kansallisten ydinvoimayhdistysten ja tieteellisten yhteisöjen kautta. Hankkeeseen osallistuvat tunnustavat ympäristötutkijoiden

enemmistön muodostaman yksiselitteisen johtopäätöksen, joka on kirjattu viidenteen IPCC arviointiraporttiin, että ihmisen toiminta on vaikuttanut maapallon ilmastoon muutokseen. Me hankkeessa uskomme, että ydinvoima on tärkeä osa ongelman ratkaisua.

Hankkeen aloituskokous pidettiin Wienissä 22. syyskuuta 2014 SFEN:n johdolla. Aloituskokoukseen osallistui ANS, Korean ydinvoimayhteisö, WNA, JAIF, NEI, NIA, Foratom, BNS, IYNC, IAEA:n ranskalainen delegaatio, Kanadan atomiteknillinen seura ja SFEN. Tällä hetkellä hankkeessa on mukana 40 yhteisöä, jotka edustavat yhteensä noin 50 000 jäsentään. Yhteisöt ovat yhdessä allekirjoittaneet Nuclear for Climate julistuksen.

Mikä on Young Generationin rooli hankkeessa?

Young generation on osa hanketta erilaisten verkostojen kautta: the International Youth

Nuclear for Climate -julistus allekirjoitettiin ICAPP-konferenssissa toukokuussa 2015. (Vasemmalla)

Nuclear Congress (IYNC), the European Nuclear Society Young Generation Network (ENS YGN), the Romanian Young Generation Network (AREN), the Youth For Nuclear Energy of Hungarian Nuclear Society (HNS - YGN) ja the French Nuclear Society Young Generation Network (SFEN YG) ovat mukana. Hanke voi olla vain menestys, jos siinä on mukana nuoria ydinvoimalan ihmisiä ympäri maailmaa.

Young Generationin päätehtävä on tukea hanketta antamalla ydinvoima-alalle kasvot nuorien ydinvoimaosaajien haastatteluiden ja ENS YGN:n periaatepaperin kautta. Tuomme esiin näkemyksemme, että ydinvoima tulee olemaan merkittävä osa sähköntuotantoon tarvittavaa kokonaisuutta myös tulevana vuosikymmeninä. Me olemme julkaisseet omat nettisivut, joilla jaamme tietoa ilmastoasioista ja sähköntuotantomuodoista <http://nuclearforclimateygn.org>.

ENS YGN on julkaissut periaatepaperin Ranskassa 22.-26.6. järjestetyn ENYGF-foorumien yhteydessä. Kerro prosessista ja organisaatiosta tämän julkaisun takana sekä miten ajatus YG:n oman julkilausuman laadinnasta syntyi?

ENSYGN päätti kirjoittaa oman periaatepaperin aiheena ydinvoima ja ympäristö tuo-



dakseen esiin tärkeitä näkökulmia liittyen tulevaisuuden energiantuotantoon. Paperin tarkoituksena on kertoa, miksi ydinvoima on tärkeä osa tulevaisuuden energiapalettia. SFEN YG on ollut päävastuussa paperin laadinnasta, mutta olemme ottaneet koko ENS

Ranskan atomiteknillisen seuran YG:n varapuheenjohtaja Martin Boissavit on ollut aktiivisesti mukana Nuclear for Climate -hankkeessa sen alusta lähtien.

YGN:n yhteisön mukaan tuottamaan sisältöä ja kommentoimaan sitä. Olemme yhdessä määrittäneet näkökulmat ja faktat, jotka haluamme nostaa esiin ja kirjoittaneet "Zoom in Facts"-osiot perustuen luotettaviin lähteisiin kuten kansainvälinen energiajärjestö (IEA). Paperin kirjoittaminen on ollut pitkä prosessi, jonka aikana olemme löytäneet tärkeimmät näkökulmat, jotka aidosti kuvaavat Eurooppalaisten ydinvoima-alan nuorten näkemystä. Prosessin aikana ENSYGN:n Core Committee -kokoukset ovat toimineet tarkastuspisteinä, joissa eri maiden edustajat ovat yhdessä käsitelleet paperin sisältöä.

Nuclear for climate -julistus ja periaatepaperi ovat luettavissa osoitteessa <http://nuclearforclimateygn.org>.

Miten ATS päätyi allekirjoittamaan julistuksen?

NUCLEAR FOR CLIMATE -julistuksen allekirjoittaminen herätti keskustelua ATS:n johtokunnassa. Keskeinen kysymys on siinä, onko julistus tulkittava sellaiseksi ydinvoiman puolestapuhumiseksi, joka ei ole tieteelliselle seuralle soveliaista.

Johtokunta päätyi siihen, että ATS on mukana julistuksessa ja sen taustalla olevassa aloitteessa yhdessä noin 40 sisarseuransa kanssa. Johtokunta ei kuitenkaan ollut yksimielinen asiassa.

Keskustelu näkyvään kansainväliseen ydinvoimamyönteiseen aloitteeseen osallistumisesta osui samaan aikaan, kun johtokunta pohti seuran uusiutumisen tavoitteista. Olemalla mukana Nuclear for Climate -aloitteessa ATS toteuttaa päämääränsä edistää ydin­teknii­kan rauhanomaista ja turvallista käyttöä.

DI Kai Salminen



Uusi ympäristöjärjestö Suomen Ekomodernistit perustettiin kesäkuussa

Suomen Ekomodernistit (SEM) on uusi ympäristöjärjestö, joka edistää pragmaattista ja tutkimustietoon pohjautuvaa lähestymistapaa ympäristönsuojeluun. Käsitteenä ekomodernismi lanseerattiin keväällä 2015 julkaistussa Ekomodernistisessä Manifestissa. Manifestin oli allekirjoittanut joukko tutkijoita, kansalaisaktiiveja ja mielipidevaikuttajia, muiden muassa myös ATS:n jäsentilaisuudessa tavattu Pandora's Promise -elokuvan ohjannut Robert Stone.

Teksti: Ville Tulkki



TkL Ville Tulkki

Puheenjohtaja

Suomen Ekomodernistit ry
info@ekomodernismi.fi

EKOMODERNISMI PYRKII parantamaan sekä ihmisten että ympäristön hyvinvointia. Se näkee itseisarvoisena sekä luonnon monimuotoisuuden ja elinvoiman että ihmiskunnan ja sen kehityksen. Näiden arvojen yhteen sovittaminen on toki haastavaa, mutta mahdollista, ja pitkässä juoksussa välttämätöntä. Ihmisten elintason nousuun liittyy onneksi tätä irtikytkentää tukevia ilmiöitä: esimerkiksi kaupungistuminen ja tehokas maatalous vähentävät yksittäisen ihmisen ekologista jalanjälkeä. Elintason nousu korreloi positiivisesti myös ympäristötietoisuuden kanssa, eli hyvinvoivat ihmiset pitävät herkemmin huolta myös ympäristöstään.

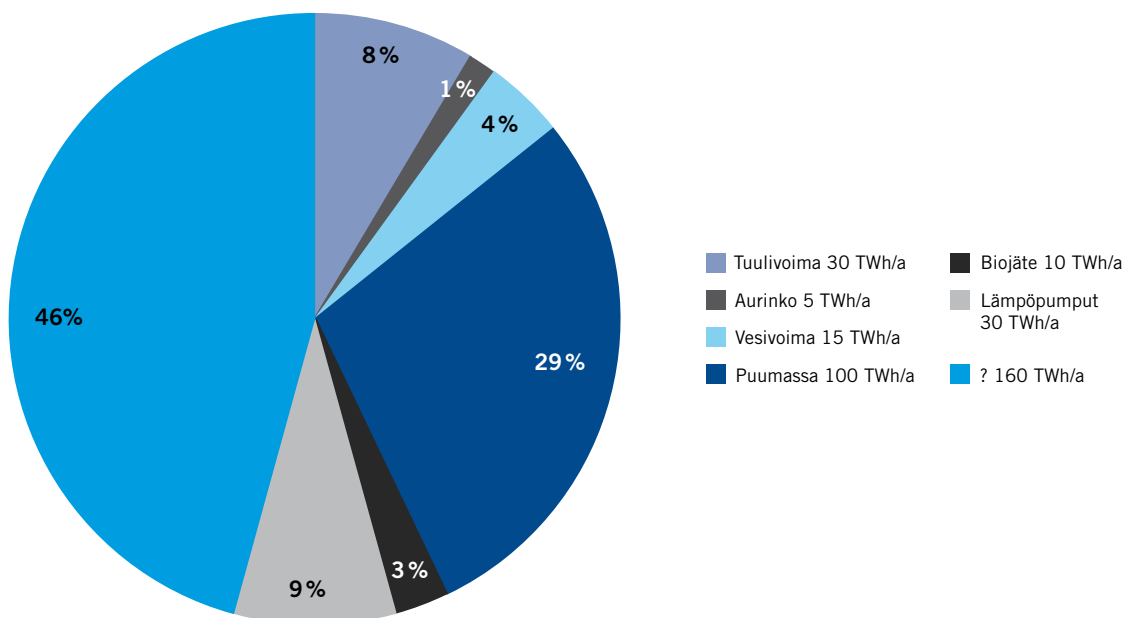
Tiede ja teknologia paitsi mahdollistavat nykyisen hyvinvoinnin myös antavat työkalut tekijöidemme seurausten analysointiin. Ilmastonmuutos on yksi suurimpia pitkän tähtäimen uhkia, ja tutkijat ovat osoittaneet sen olevan hyvin suurella todennäköisyydellä ihmisen toiminnan aiheuttamaa. Samoin energian tuotanto ydinvoimalla sekä geneettisesti muokattujen kasvien käyttö ruuan tuotannossa on tutkimuksissa osoitettu turvalliseksi käytän-

nössä mihin tahansa vaihtoehtoihin verrattuna. Kuitenkin tieteeseen luottaminen yhdessä aiheessa ja sen tulosten hylkääminen toisissa on arkipäivää nykyisessä julkisessa keskustelussa.

Ydinvoiman rooli?

Yksi olennaisista kysymyksistä on ilmastonmuutoksen torjunnan vaatimat toimet Suomen energiajärjestelmässä. Maamme vuotuinen primäärienergian kulutus on noin 350 TWh, ja tämä kaikki pitäisi tuottaa ilman hiiltä, öljyä tai maakaasua vuonna 2050. Mikä on ydinvoiman rooli tulevaisuudessa? Yksi alati pienenevä osa muiden keinojen joukossa vai olennainen osa ratkaisua?

Kasvava rooli vaatisi todennäköisesti standardoituja ja sarjassa valmistettuja komponentteja tai jopa reaktoreita laskemaan kustannuksia ja rakentamisaikoja. Toisaalta poliittinen hyväksyntä peräänkuuluttaa korkeaa kotimaisuusastetta sekä hyvin perusteltua turvallisuutta. Myös polttoainekierron sulkeminen voi olla olennainen osa ydinvoiman



Suuruusluokka-arvio Suomen vähäpäästöisen energiantuotannon potentiaalille vuonna 2050 ilman ydinvoimaa, mukana myös lämpöpumpuilla saatava energiansäästöpotentiaali. Kysymysmerkillä nimetty osa on potentiaalain erotus nykyiseen primäärienergiankulutukseen. Arviot koottu kirjasta Uhhapeli Ilmastolla, J.M. Korhonen ja R. Partanen.

kestävyyden perustelussa vaikka se ei alan osaajille kiireelliseltä vaikutakaan. Onko suomalainen lainsäädäntö, tutkimus, teollisuus ja viranomaistoiminta valmis tähän? Energia-alalla kvartaalin on sanottu olevan neljännesvuosisata, joten suurten muutosten pohjustuksen aika on käsillä nyt.

Yhdistyksen perusperiaatteet

Suomen Ekomodernistit ry:n perustamiskokous pidettiin 25.6.2015. Yhdistys pyrkii edistämään tutkimustietoon pohjautuvaa keskustelua ympäristönsuojelusta, saattamaan yhteen aiheesta kiinnostuneita ihmisiä sekä Suomessa että ulkomailla sekä tarjoamaan vaihtoehtoja niille, jotka ovat huolissaan ympäristöstä mutta suhtautuvat teknologian tuomiin mahdollisuuksiin myönteisesti.

Ekomodernistisen Manifestin voi lukea osoitteesta www.ecomodernism.org. Suomen Ekomodernistien [www-sivut](http://www.facebook.com/groups/Suomen.Ekomodernistit) löytyvät ekomodernismi.fi ja aiheeseen liittyvään keskusteluun tarkoitettu Facebook-ryhmä on www.facebook.com/groups/Suomen.Ekomodernistit.



Ekomodernismissa kantavana ajatuksena on ihmisten hyvinvoinnin kielteisten vaikutusten vähentäminen. Esimerkiksi tiivis kaupunki mahdollistaa tilan jättämisen myös luonnolle. Kuva Vanhankaupunginlahdesta, jossa on kantakaupungin kyljessä arvokas lintualue sekä luonnonsuojelualue.

Suomen ensimmäisen ydinlaitoksen käytöstäpoistoon liittyy haasteita

Markus Airila, Olli Vilkkamo
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Vuonna 1962 käynnistetyn Otaniemen FiR 1 -tutkimusreaktorin käyttöluva uusittiin vuoden 2012 alussa perusteena sädehoito. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy joutui kuitenkin päättämään reaktorin sulkemisesta kannattamattomana, kun BNC-hoitoyritys Boneca teki konkurssin pian luvan saamisen jälkeen. FiR 1 sammutettiin viimeisen kerran 30.6.2015. Normaalin kesäseisokin jälkeen reaktori muutetaan pysyvästi alikriittiseksi ja reaktorirakennuksessa aloitetaan käytöstäpoiston valmistelu.

The operation permit of the FiR 1 research reactor, located in Otaniemi and started in 1962, was renewed in the beginning of 2012 on the grounds of radiotherapy. However, VTT Technical Research Centre of Finland had to decide to shut down the reactor because it was unprofitable after Boneca, the company organizing BNC-treatments, went bankrupt soon after the renewal of the operation permit. FiR 1 was permanently shut down on June 30th, 2015. After normal summer shutdown period, the reactor core will be modified permanently to a subcritical state and the preparation for decommissioning and dismantling begins in the reactor building.

Pioneerina myös elinkaaren lopussa

FiR 1 on ensimmäinen käytöstä poistettava ydinlaitos Suomessa. Vaikka käytetyn polttoaineen ja purkujätteen määrät ja kokonaisaktiivisuudet ovat useita kertaluokkia pienemmät kuin tehoreaktoreilla, käytöstäpoisto on tietenkin samojen lupaprosessien alainen. Arvioitu työmäärä on kymmeniä henkilötyövuosia, ja VTT tulee tarvitsemaan resurssisensa täydennykseksi ulkopuolisia palveluja. FiR 1:llä ei esimerkiksi ole vankkaa ydinvoimalaitoksilla hankittua kokemusta kontaminoituneissa kohteissa työskentelystä. Myös jätteiden lajittelu ja karakterisointi ovat käytännössä uusia asioita. Käytetyn ydinpolttoaineen kansainvälinen siirtokuljetus on ainutkertainen tehtävä. Uskallamme toivoa vireää kansallista yhteistyötä, sillä ydinvoimayhtiöille purkuun osallistuminen lienee houkuttelevaa erinomaisena käytöstäpoiston T&K-hankkeena.

Pohjatyönä VTT on päivittänyt säännöllisesti ydinjätehuoltosuunnitelmansa ja toteuttanut vuosina 2013–15 käytöstäpoiston ympäristövaikutusten arvioinnin [1]. Helmikuussa Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) totesi lausunnossaan YVA-selostuksen täyttävän lainsäädännön vaatimukset. Selostusta pidettiin siitä saaduissa lausunnoissa yleisesti asianmukaisena sekä kattavana. Aalto-yliopiston lausunto puolsi nopeaa purkamista. Kaavailtua aikataulua pidettiin kuitenkin teknisesti haastavana. Tietoa kaivattiin myös käytetyn ydinpolttoaineen varastoinnista Yhdysvalloissa.

Etenemme nyt kolmella rintamalla: (i) käytetyn polttoaineen huolto, (ii) reaktorin purkusuunnittelun ja purun hankinta sekä (iii) purkujätteen väliarastoinnin valmistelu. Näiden rinnalla laaditaan käyttöluvan muutoshakemus, joka on tavoitteena jättää Valtioneuvostolle vuoden 2016 aikana.

Käytetyn ydinpolttoaineen huolto

Koko hankkeen aikataulun keskeinen kiintopiste on käytetyn polttoaineen poisto sydäimestä. Vähäisiä esitöitä lukuun ottamatta reaktorin rakenteiden purku voidaan aloittaa vasta polttoaineen poiston jälkeen.

Käytettyä polttoainetta on Otaniemen Trigan käytön aikana kertynyt noin 100 polttoainesauvaa (n. 15 kg U josta 3 kg ²³⁵U; kuva 1). Polttoaine on yhdysvaltalaisista alkuperää ja kuuluu toukokuuhun 2019 asti voimassa olevan Department of Energy (DOE) palautusohjelman piiriin. Palautukset Idaho National Laboratoryyn (INL) ovat kuitenkin toistaiseksi keskeytyksissä, sillä INL ei ole onnistunut noudattamaan sitä velvoittavan sopimuksen (Idaho Settlement Agreement) ehtoja. Mm. nopeiden kooreaktoreiden radioaktiivisten natriumjähdytejätteiden käsittely on pahasti jäljessä suunnitellusta. Sanktiona osavaltio on toistaiseksi kieltänyt uusien jätteiden vastaanoton, ja me täällä Suomessa joudumme muiden mukana jännittämään miten tilanne kehittyy. Emme kuitenkaan pelkäämme mutusta popcornia kotikatosomossa vaan valmistelemme sopimukset ja luvat mahdollisimman valmiiksi ollaksemme lähtökuopissa kun siirtolupa saadaan. Työ- ja elinkeinoministeriö on mukana keskusteluissa ja yhteydenpidossa DOE:n johtoon.

Kun polttoaine luovutetaan Suomesta, tarvitaan vientilupa, ja materiaalit tulevat poistumaan myös Euratomin taseesta. Käytännössä hyväksyntä hankitaan sekä IAEA:lta että Euratomilta. Käytännön kuljetuksissa DOE tekee läheistä yhteistyötä kansainvälisen NAC-kuljetusyrityksen kanssa, jolta hankittuna siirrot ja kuljetukset todennäköisesti sujuisivat rautaisella rutiinilla. Tosin myös ruotsalaisen ydinjätehuoltoyrityksen SKB:n ydinpolttoaineen kuljetus (kuva 2) on hoitanut vastaavia kuljetuksia Atlantin taakse.

Toissijaisena vaihtoehtona on käytetyn polttoaineen kotimainen loppusijoitus. VTT:n ja Posivan välinen periaatesopimus mahdollistaa loppusijoituksen suunnittelun Olkiluotoon ilmoittamalla tarpeesta Posivalle viiden vuoden kuluessa reaktorin sammutuksesta. Sopimus ei kata välivarastointia, joka on tarpeen, sillä ydinvoimayhtiöiden oman polttoaineen kapselointi ja loppusijoitus menevät etusijalle loppusijoituksen ensimmäisinä vuosikymmeninä. Suunnittelun käynnistämisen ohella tarvitaan hyvin monivaiheinen luvan hankinta, johon sisältyisi myös eduskunnan periaatepäätös FiR 1:n käytetyn polttoaineen loppusijoittamisesta Olkiluotoon.

FiR 1:n käytöstäpoiston suunnittelu

Yhdysvallat on toimittanut FiR 1:n kaltaisia opetus- ja tutkimuskäyttöön tarkoitettuja Triga-allasreaktoreita kaikkiaan noin 60 kappaletta. YVA:n taustaraportti [2] sisältää selvityksen viranomaisvaatimuksista ja kansainvälisistä suosituksista sekä yhteenvedon toteutettujen purkujen kokemuksista. Saksassa Trigoja on purettu kolme ja Koreassa yksi. Tanskassa Risørn kaksi koereaktoria on poistettu käytöstä [3] ja kolmannen purku on käynnissä, samoin Studsvikin R2-reaktorin [4]. Esimerkiksi saksalaisella Bilfinger-konserniin kuuluvalla Babcock Noell-yrityksellä on täydelliset Trigan purkuohjeet ja työkalujen piirustukset Hannoverissa tehdyn käytöstäpoiston jäljiltä.

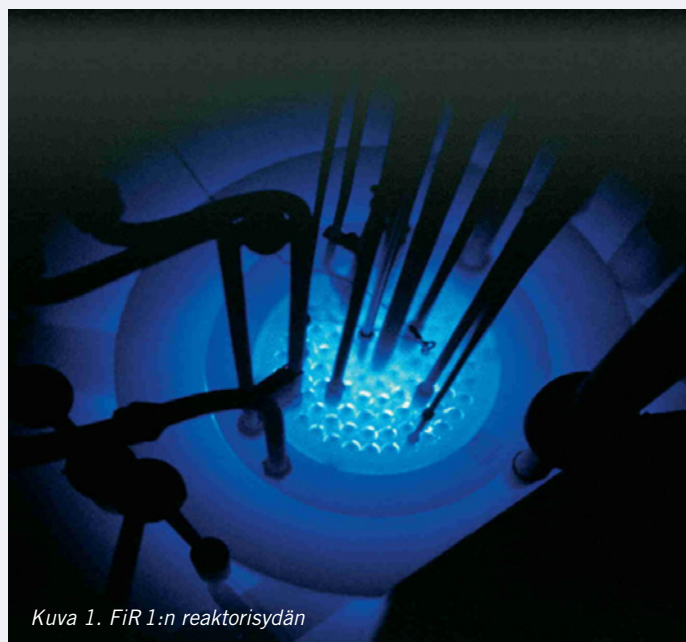
Yksityiskohtainen purkusunnittelu ja varsinainen purkutyö ovat kaksi suurta kokonaisuutta, jotka tullaan tilaamaan erikseen. Purkujätteiden pakkaamisessa tulee ottaa huomioon välivarastoinnin lisäksi myös pakkausten myöhempi loppusijoitettavuus, mikä edellyttää riittävän yksityiskohtaista suunnittelua jo tässä vaiheessa. Purkutyön säteilysuojeluun liittyy läheisesti purettavien rakenteiden aktivoituminen, josta kerromme tarkemmin jäljempänä.

Purkaminen sekä syntyvä matala- ja keskiaktiivinen ydinjäte

FiR 1:n purkujätteet luokitellaan matala- ja keskiaktiivisiksi ydinjätteiksi, joiden aktiivisuudet ja määrät ovat verraten pieniä. Välittömään loppusijoitukseen ei ryhdytä, vaan purkujäte varaudutaan välivarastoimaan n. 20 vuoden ajaksi. Paraikaa selvitetään välivarastointia Otaniemessä maanalaisessa tutkimustilassa (tarvittava lisätila olisi n. 60 m³). Toinen vaihtoehto olisi välivarastointi kotimaisten voimayhtiöiden tiloissa. Se edellyttäisi sopimista voimayhtiöiden kanssa ja asianmukaista muutosta laitoksen käyttöluupaun ottaen huomioon erilaiset jätetyypit ja VTT:n purkujätteen mukanaan tuoma lisäinventaarit sekä radionuklidit, joita ei laitosten alkuperäisessä inventaarissa ole. Aikataulullisesti realistisinta olisi välivarastointi Olkiluodon KAJ-varastossa, jolloin luvitus voitaisiin hoitaa TVO:ssa meneillään olevan käyttöluopauudistuksen osana. Loppusijoitus voidaan tehdä joko Olkiluodon VLJ-luolaan (OL3 laajennus) tai Loviisan purkujäteluolaan.

Reaktorin rakennemateriaalien aktivoitumista on arvioitu laskennallisesti [5] käyttäen laskettuja neutronivuojakautumia ja käyttöhistoriaa. Otaniemen Trigan erityispiirteensä on se, että grafiittinen terminen patas korvattiin vuonna 1995 sädehoitoasemalla (BNCT-asema), jossa hidastimena on ollut alumiinia ja alumiini- ja litiumfluoridia sisältävä materiaali, FluentaTM. Hidastin tuotti käytettäessä runsaasti tritiumia, joka on tämän hetken arvion mukaan olennaisesti pysynyt materiaalissa ja muodostaa nyt pääosan (yli 97 %) purkujätteen aktiivisuudesta.

Kotimaisten ydinvoimalaitosten purkujätteessä ei ole reaktorigrafiittia eikä merkittäviä määriä alumiinia. Erillisessä kirjallisuustutki-



Kuva 1. FiR 1:n reaktorisydän

muksessa [6] on selvitetty säteilytetyn grafiitin ja alumiinin kemiallisia reaktioita ja niiden vaikutusta purkujätteen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuteen. Lisäksi on selvitetty kansainvälisiä käytäntöjä grafiitin ja alumiinin loppusijoituksen suhteen, sekä kokeellisia menetelmiä orgaanisen ja epäorgaanisen ¹⁴C:n vapautumisen määrittämiseksi grafiitista.

Käytetyn polttoaineen ja purkujätteen kuljetuksista VTT on tehnyt erillistarkastelun [7], joka sisältää normaalkuljetukset sekä häiriö- ja onnettomuustilanteet. Tarkastelu antaa arvion kuljetuspakkausten käsittelijöiden, kuljetushenkilöstön sekä väestön kollektiivisista säteilyannoksista. Raportti toteaa, että säteilyturvallisuuden näkökulmasta FiR 1:n käytöstäpoiston kuljetuksista ei aiheudu henkilöstölle eikä väestölle vaaraa, ja että myöhemmin ilmenevien vakavien terveyshaittausten esiintymisen riski on häviävän pieni.

FiR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoiston aikana aiheutuvista ympäristön säteilyvaikutuksista on laadittu tutkimusraportti [8], jossa tarkastellaan kahta erityyppistä oletettua päästötilannetta, joista toinen on häiriö- ja toinen polttoaineenkäsittelyonnettomuus, sekä arvioidaan niistä seuraavia säteilyannoksia. Tarkasteltujen päästöjen seurauksena ympäristössä oleskelevan henkilön arvioitu annos jää pienemmäksi kuin taustasäteilyannos.

Käyttöluvan muutoshakemus

VTT on esittänyt kirjeitse Säteilyturvakeskukselle (STUK) ja TEM:lle lopettamiseen liittyviä toimenpiteitä sekä tulevaa käyttöluvan ehtojen muutosvaihetta.

Pysyvään sammutustilaan on siirrytty nykyisen käyttöluvan puitteissa. Käyttöluvan muutos tarvitaan vasta varsinaista käytöstäpoistoa eli purkamista varten. Siirtyminen reaktorin pysyvään aikriittiseen tilaan tapahtuu STUK:n valvonnassa. Muutoksista tiedotetaan ennakkoon ja tarvittaessa niille hankitaan STUK:lta hyväksyntä. VTT pitää yhteyttä STUK:een soveltaen suhteellisuusperiaatetta (graded approach).

Myös lupakysymyksessä teemme Suomessa uutta työtä ensimmäisenä ydinlaitoksen käytöstäpoiston toteuttajana. Ydinenergiain tulevassa kokonaisuudistuksessa tarkennetaan käytöstäpoiston luvitusta, mikä ei tosin vielä ennätä vaikuttaa FiR 1 -reaktorin käytöstäpoistoon.

FiR 1 on ollut hyvin käyttöturvallinen laitos. Nyt VTT:n on uudistettava sen johtamis- ja toimintajärjestelmän useita kohtia, joilla hallinnoidaan aivan erityyppinen tapahtuma aiempaan verrattuna.

Käyttöluvan muutos haetaan lupaehtojen muutoksena Valtioneuvostolta. Uusi lupa ei enää sisällä reaktorin ydinteknistä käyttöä eri tarkoituksiin, vaan lupahakemuksessa esitetään reaktorin purkaminen ja ydinjätehuollon kaaviot. Luvan voimassaolon aika ei silloin muuttuisi, ja vuoden 2023 jälkeiseen tilanteeseen eli ydinjätevarastojen käyttöön haetaan uusi lupa, joka aktiivisuuden perusteella voisi olla myös Säteilyturvakeskuksen antama toimintalupa.

Kun valmistelu etenee, tarkentava keskustelu käyttölupa- ja viranomaisaineistoista käydään TEM:n ja STUK:en kanssa.



Kuva 2. Ruotsin SKB:n käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusalus M/S Sigrid (Kuva: SKB)

Viitteet

- [1] FiR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoisto. Ympäristövaikutusten arviointiselostus, Pöyry Finland Oy ja Teknologian tutkimuskeskus VTT, lokakuu 2014.
- [2] T. Lytsy ja T. Siiskonen, FiR-1 dismantling: Topical report to environmental impact analysis, Platom Oy 2014.
- [3] Decommissioning of DR 2. Final report, raportti DD-38 Ref.1, Dansk Dekommissionering, 2009.
- [4] Beslut gällande ansökan om godkännande av säkerhetsredovisning, STF oc avfallsplan för avveckling av R2-anläggningen, dokumentti SSM2013-5960-21, Strålsäkerhetsmyndigheten, 2014.
- [5] P. Kotiluoto ja A. Rätty, FiR 1 activity inventories for decommissioning planning, raportti VTT-R-02457-15, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 2015.
- [6] T. Carlsson, P. Kotiluoto, O. Viikamo, T. Kekki, I. Auterinen ja K. Rasilainen, Chemical aspects on the final disposal of irradiated graphite and aluminium, VTT Technology 156, Teknologian tutkimuskeskus VTT 2014.
- [7] V. Suolanen, Kuljetus selvitys FiR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoistoon liittyvää YVA-selostusta varten, raportti VTT-R-04212-14, Teknologian tutkimuskeskus VTT 2014.
- [8] J. Rossi, FiR 1 -tutkimusreaktorin käytöstäpoiston aikana aiheutuvat ympäristön säteilyannokset, raportti VTT-R-02972-14, Teknologian tutkimuskeskus VTT 2014.

Kirjoittajat



Tkt Markus Airila

Erikoistutkija, FiR 1 -käytöstäpoistoprojektin päällikkö
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
markus.airila@vtt.fi



DI Olli Viikamo

Johtava tutkija
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
olli.viikamo@vtt.fi

Jäähyväiset Trigalle

Ryhmä ATS-Senioreja ja TKK/VTT Reaktorilaboratorion kasvatteja koontui 26.5.2015 tapaamaan ja jättämään jäähyväiset Otaniemen tutkimusreaktorille. Tilaisuuden luonteelle sopivasti ryhmä kävi tarkastamassa kesäkuun lopussa suljetun reaktorin viimeistä kertaa käytön aikana ja muisteli menneitä.

TILAISUUDEN JÄRJESTÄJÄNÄ toiminut VTT:n Olli Viikamo totesi taloudellisten syiden johtavan Suomen ainoan tutkimusreaktorin sulkemiseen. VTT:llä on edessään päätöksiä reaktorin käytetyn ydinpolttoai-

neen suhteen. Vaihtoehtoina ovat palauttamisen Yhdysvaltoihin tai loppusijoitus Suomessa.

Reaktorin vastuullinen johtaja Timo Vantola totesi, että FiR 1:n tutkimusinfrastruktuuriin jättämää aukkoa paikkaavat jatkossa myös

VTT:n Ydinturvallisuustalo ja Ranskaan Cadaracheen rakennettava Jules Horowitz -tutkimusreaktori.

Nostalgiaa huolimatta myös paikalla olleet Triga-veteraanit olivat yhtä mieltä siitä, että aika on ajanut FiR 1:n kaltaisten tutkimusreaktorien kultaisten vaiheiden ohi. Otaniemen reaktorilla on joka tapauksessa niin merkittävä rooli suomalaisen ydintekniikan ja koulutuksen kehityksessä, että se ansaitsisi tulla kirjoitetuksi muistiin.

DI Kai Salminen



Tarinoita tutkimusreaktorilta

Kunnioittaakseen Trigan muistoa ja siirtääkseen palan historiaa myös seuraaville polville, ATS Ydintekniikan toimitus keräsi Olli Vilkamon avustamana muutamia muistoja tutkimusreaktorin matkan varrelta. Tarinoiden kertojat ovat aloitelleet uransa ydinvoiman parissa samalla, kun Suomi siirtyi atomiaikaan FiR 1:n myötä. Sittenmin he ovat tehneet alalla merkittävän uran.

Diplomityöntekijän muistikuvia FiR 1:n vihkimistilaisuudesta v. 1962

OMA TYÖNI V. 1962 kytkeytyi reaktoriin vain hyvin ohuesti. Olimme Antero Tammisen kanssa saaneet Pekka Jauholta yhteisen diplomityöaiheen selvittää, esiintyykö Mg-24-ytimellä rekyyliön gammatransitio, kuten eräässä tutkimusjulkaisussa väitettiin. Työtä varten tarvitsimme Na-24-radioisotooppia, joka tuotettiin reaktorilla.

Vihkiäistilaisuudesta muistan sen, että reaktorin ylätasolle nykyisen sisäpihan puoleiselle seinälle korkeiden ikkunoiden eteen oli rakennettu hyvin jyrkästi nouseva katsomo niin, että ylimmäiselle penkkiriville oli suorastaan

pelottavaa kiiwetä, mutta sieltä oli loistava näkymä koko vihkiäistapahtuman seuraamiseen.

Presidentti Kekkosesta muistan tyylikkään pukeutumisen ja ryhdikkään, varmaotteisen esiintymisen. Juhlan huipennuksena hän laukaisi tehopolssin, joka välittyi katsojalle pikemminkin pulssisauvan ääniefektinä kuin valon välähdyksenä. Toisen pulssin ampumistoiveesta minulla on vain hämärä muistikuva.

General Atomicsin edustajana paikalla oli toimitusjohtaja Frederic de Hoffmann. Myöhemmin vuosinani tapasin useastikin GA:n henkilöitä, erityisesti W. L. Whittemoren, joka



Presidentti Urho Kekkonen vihki suomen ensimmäisen ydinreaktorin käyttöön 27. maaliskuuta 1962. Taustalla Pekka Jauho ja Frederic de Hoffman.

oli Otaniemessä maaliskuussa 1962 käynnistämässä reaktoria. Häntä pidetään Triga-reaktorin "isänä" vuonna 2006 julkaistun muistokirjoituksen mukaan. De Hoffmann puolestaan menehtyi traagisesti 1989 saatuaan verenssiirrossa AIDS:in saastuttamaa verta.

TkT Pekka Hiismäki

Hurjastelua ydinreaktorilla!

KUN OTANIEMEN FiR 1 -reaktori otettiin käyttöön v. 1962, se ei vielä ollut nykykunnossa valmis, koska sen suurin sallittu vakioiteho oli vain 100 kW. Vuoden 1965 kesällä kesäharjoittelijana sain reaktorilaboratorion johtajalta professori Jauholta tehtäväkseni selvittää mitä mahdollisuuksia olisi reaktorin tehon korottamiseksi. Kiinteätä tavoitetta tai ylärajaa ei annettu, mutta neutronivuon kasvattamisella saavutettiin ajallisia sekä kustannuksellisia säästöjä kasvavalle määrälle tilaustöitä, isotooppiin tuotantoon ja tutkimuksiin. Osoittautui, että toimeksiantoni oli samalla nimitys hankkeen pääsuunnittelijaksi, sillä kaikilla esimiesasemassa olevilla tuntui olevan muuta tärkeäm-

pää tekemistä päätyön, opetuksen ja opinäytteiden parissa.

Suunnittelutyö kattoi kaikki olennaiset reaktoriteknikan osa-alueet: reaktorin jäähdytys ja lämmönsiirto lopulliseen lämpönielun, säteilysuojauksen vahvistaminen, mahdollinen termien suoja lämpöjännitysten rajoittamiseksi rakenteissa, polttoainelatauksen ja uusien säätösauvojen suunnittelu, sekä tarpeelliset instrumentointimuutokset. Mallia ei voitu suoraan ottaa niiltä samantyyppisiltä laitoksilta jotka oli jo alun perin suunniteltu korkeammalle teholle, koska pyrkimyksenä oli käyttää hyväksi jo olevia rakenteita ja laitteita. Osia muutoksista voitiin toteuttaa ennen varsinaisia reaktorimuutoksia.

Koska yli 400 kW:n tehoille siirtyminen olisi vaatinut huomattavasti kalliimmat muutokset kaikilla osa-alueilla, mahdollisesti mm. kaiken

polttoaineen vaihdon teräskuoriin elementteihin, päätettiin tehdä tehokorotuskoe, jolla selvitetäisiin mille teholle voitaisiin turvallisesti päästä nykyisillä polttoaine-elementeillä. Koe päätettiin tehdä askeleittain, ja kussakin vaiheessa tehtäisiin joukko mittauksia, kuten säteilytasot, reaktiivisuus, jäähdytteen ja polttoaineen lämpötilat ja virtauskuviot. Myös kaasunäytteitä otettaisiin. Tehon mittaamiseksi neutronivuomittaria siirrettiin sopivalle etäisyydelle sydäimestä ja tehonmittaus kalibroitiin sen mukaan. Kokeelle määriteltiin myös kriteerit, joiden perusteella tehon nosto lopetettaisiin vaarantamatta polttoaineen kestävyttä. Rajoitavia suureita (lämmönsiirto, jännitykset, täytekaasun paine, vedyn dissosiaatio, faasinmuutokset) oli seurattava osin fysikaalisten mallien perusteella epäsuoria mittauksia käyttäen.



Neutronitutkimusta Trigan suihkuputkella.



Takarivissä Bruno Bärs, Bjarne Regnell ja Antti Vuorinen kerääntyneenä FiR 1:n ohjauspöydän äärelle. Keskimmäisenä Amerikasta tullut vierailija, jonka nimi on jo jäänyt unohtuksiin.

Reaktorilaboratorion turvallisuuskomitea hyväksyi suunnitelman. Koepäivään oli varattu melkoinen joukko henkilöstöä tekemään tarvittavia mittauksia ja havaintoja. Hetken koettaessa 1.2.1966 kaikki oli valmista, kirjattiin alkulukemat ja annettiin operaattorille merkki ensimmäisestä korotusvaiheesta. Koe vietiin läpi 1.–2.2.1966 ja lopetettiin rajoituskäyrää lähestyttäessä. Lämpöteho oli tuolloin 318 kW. Laitos palautettiin normaalitilaan. Tulosten analyysi osoitti, että todennäköisesti ainakin tehotalle 250 kW voitaisiin päästä ongelmitta.

Muutama päivä kokeen jälkeen laboratorion säteilysuojelupäällikkö Antti Vuorinen tuli huo-

neeseeni ilmeisen tuhtuneena siitä, että olin uskaltanut törkeästi rikkoa lakia! Olin nimittäin tullut ylittäneeksi kokeen teholle asetetun ylärajan 300 kW. Tämä ”pikkupräntti” oli ilmeisesti minulta jäänyt huomioimatta, kun olin keskittynyt määritettyjen fysikaalisten mittauskriteerien seurantaan ja varmistanut, että niitä ei ylitetä. En lämmennyt Antin kritiikille. (Olihan ensimmäinen kriittisyyskoeikin sentään tehty keskellä Chicagon kaupunkia!) Ei Anttakaan loppujen lopuksi tehnyt asiasta suurempaa numeroa. Arvelen että jos asiaa olisi ryhdytty selvittämään, olisi varmaan kysytty myös muilta esimiehiltä, missä olivat ja mitä tekivät kokeen aikana.

Nyttemmin taitaa tuo huimapäinen rikokseni olla jo vanhentunut. Vai pitääkö vieläkin odottaa yöllistä koputusta oveen? Joka tapauksessa ydintehoennätykseni säilyi Loviisan laitoksen käynnistymiseen saakka!

Kokeen jälkeen tehtiin päätös tehtasosta 250 kW, laadittiin turvallisuusselosteet, hankittiin luvat ministeriöltä ja IAEA:lta, ja toteutettiin tarpeelliset muutokset. Katsastus uudelle tehtasolle tehtiin 2.–3.8.1967.

TkT Jussi K. Vaurio

Kesäteekkareiden kilpailu

TAISI OLLA KESÄLLÄ 1972, jolloin reaktorilla oli useita kesäteekkareita, heräsi heidän kesken kilpailu siitä, kuka onnistuu nopeimmin nostamaan reaktorin täyteen tehoon sallituin keinoin. Nopein tapa oli sellainen, että ensin ammuttiin pulssisauva, sitten nostettiin arvokkaampi säätösauva ylös ja alettiin nostaa toista säätösauvaa. Kun reaktori tuli kriittiseksi, tehon nostonopeutta alkoi rajoittaa ns. periodimit-

tari, joka osoitti, missä ajassa teho nousee e-kertaiseksi. Reaktorin silloisessa instrumentoinnissa oli asetettu rajakatkaisija seitsemään sekuntiin. Tehon noustessa reaktori lämpeni ja siihen tuli tehon nousua kiihdyttävä takaisinkytkentä. Niinpä ohjaajan täytyi yhdessä vaiheessa alkaa kelata säätösauvaa alaspäin, jotta reaktori ei olisi mennyt pikasulkuun, ja tehon vakauduttua alkaa taas varovaisesti nostaa sauva. Nopein mahdollinen tehonnosto edellytti periodimittarin heiluvan viisarin pitämistä 7–10 sekunnin vä-

lillä. Lopussa piti vielä varoa maksimitehon rajoitinta.

Pidin useita viikkoja hallussani tehonnostoennätystä. Mutta sitten tuli teekkari Matti Manninen (nykyään Jyväskylän yliopiston reaktori), joka vakaalla kädellä nosti tehon kriittisillä hetkillä noin kahdeksan sekunnin periodilla ja löi selvästi ennätykseni. Ja luulen, että hänen suorituksensa jäi vanhan instrumentoinnin kaikkien aikojen ennätykseksi.

DI Esko Ruokola

Väitös: Tehokas menetelmä lämpötilajakaumien mallinnukseen Monte Carlo -neutronikuljetuslaskuissa

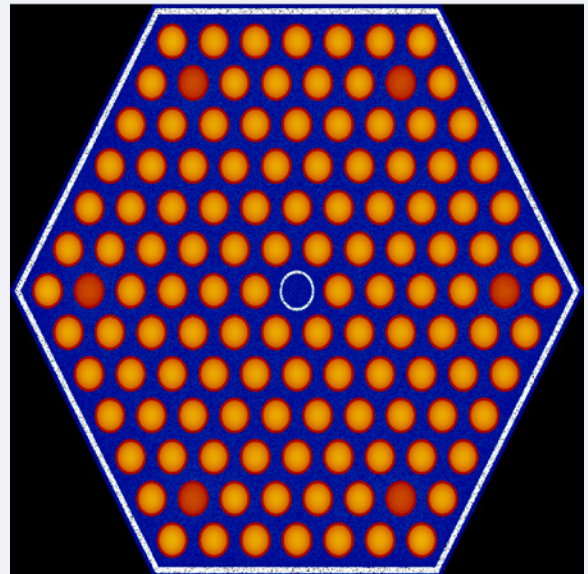
Tuomas Viitanen
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Väitöstyössä kehitettiin menetelmä, jonka avulla lämpötilan vaikutus reaktiotodennäköisyyksiin saadaan huomioitua Monte Carlo -neutronikuljetuslaskun aikana. Tämän ansiosta vaikutusalat joudutaan tallentamaan tietokoneen muistiin ainoastaan yhdessä lämpötilassa riippumatta materiaalien lämpötilajakaumista, mikä helpottaa merkittävästi jakaumien tarkkaa mallinnusta.

Aina kun fissioreaktori tuottaa lämpöä – joko hyödynnettäväksi sähköntuotannossa tai muun käyttötarkoituksen sivutuotteena esimerkiksi tutkimusreaktoreissa – lämpötila reaktorin sisällä vaihtelee voimakkaasti. Suurimmat lämpötilaerot löytyvät tyypillisesti polttoainesauvoista, joiden keskiakseli saattaa uraanidioksidin heikon lämmönjohtavuuden vuoksi olla jopa 600 astetta ulkopintaa korkeammassa lämpötilassa normaalikäytön aikana. Toisaalta reaktorin tehojakauma ei ole täysin tasainen, minkä vuoksi polttoainesauvojen lämpötilat vaihtelevat myös reaktorin eri osien välillä. Teho- ja lämpötilaerot korostuvat palavia absorbaattoreita sisältävien polttoainesauvojen kohdalla, koska absorbaattori hillitsee niiden fissiotehoa merkittävästi latausjakson alkupuolella. Lisäksi reaktorin jäähdyte lämpenee virratessaan reaktorin läpi, joten painevesireaktoreissa jäähdyte on kymmeniä asteita lämpimämpi reaktorin yläosassa kuin alaosassa.

Lämpötila, tai teknisemmin ilmaistuna lämpöliike, vaikuttaa neutronien kulkeutumiseen suoraan kahta kautta. Ensinnäkin lämpötila vaikuttaa neutronien vuorovaikutustodennäköisyyksiä kuvaaviin vaikutusaloihin. Ilmiötä kutsutaan yleensä Doppler-levenemiseksi, koska vaikutusalojen resonanssiipiikit madaltuvat ja levenevät kun vaikutusalat keskiarvoistetaan lämpöliikkeen yli. Sen merkittävin seuraus on U-238-resonanssiabsorption todennäköisyyden kasvaminen lämpötilan nousun myötä, mikä luo turvallisuuden kannalta tärkeän takaisinkytkennän polttoaineen lämpötilan ja reaktiivisuuden välille. Toiseksi lämpötila vaikuttaa neutronien sirontajakaumiin, minkä vuoksi mm. termisten neutronien energijakauma määräytyy ympäristön lämpötilan mukaan. Lisäksi lämpötilalla on epäsuoria vaikutuksia neutronien kulkeutumiseen esimerkiksi rakenteiden lämpölaajenemisen ja jäähdytteen tiheyden vaihtelun kautta.

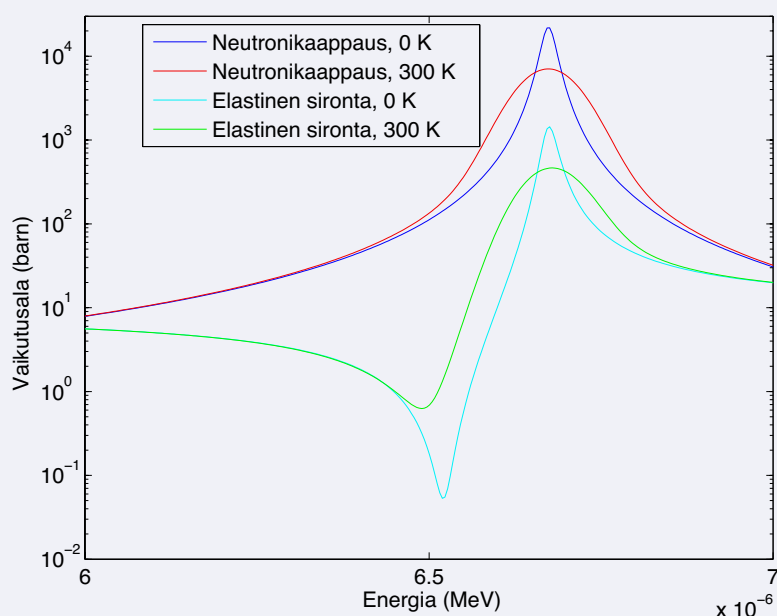
Lämpöliikkeen aiheuttamat ilmiöt täytyy ottaa huomioon, kun simuloidaan neutronien kulkeutumista reaktorissa, kuten reaktorin tehojakaumaa ratkaistaessa. Perinteisesti lämpöliikkeen vaikutus vuorovaikutustodennäköisyyksiin on huomioitu efektiivisten eli Doppler-levennettyjen vaikutusalojen avulla: Doppler-levennetty vaikutusalat lasketaan ennen varsinaista neutronikuljetuslaskua ja tal-



Kuva 1. Lämpötila vaihtelee voimakkaasti polttoainesauvojen sisällä. Kuvan VVER-nipusta on lisäksi helposti tunnistettavissa 6 neutroniabsorbaattori gadoliniumia sisältävää sauvaa, jotka ovat merkittävästi muita kylmempää pienemmän fissiotehon vuoksi. Kuvan lämpötilajakaumat on laskettu Serpentin sisäisen lämpötilaratkaisimen avulla.

lennetaan tietokoneen muistiin laskun ajaksi. Mikäli mallinnettavassa systeemissä esiintyy materiaaleja useassa lämpötilassa, vaikutusalat täytyy siis tallettaa muistiin erikseen jokaiselle lämpötilalle.

Jos reaktorin lämpötilajakaumat halutaan mallintaa tarkasti, nykykäsistekin tietokoneista loppuu muisti helposti kesken. Ongelma on erityisen suuri jatkuvaenergisessä Monte Carlo -menetelmään perustuvissa neutronikuljetusohjelmissä (esim. MCNP, Serpent), joissa kokonaisen



Kuva 2. U-238:n kaappaus- ja sirontavaikutusalat 6,7 eV resonanssin ympäristössä muuttuvat kun lämpötila kasvaa 0 Kelvinistä 300 Kelviniin. Perinteisissä neutronikuljetusmenetelmissä nämä vaikutusalakäyrät lasketaan etukäteen, mikä kuluttaa paljon tietokoneen muistia.

nuklidikirjaston muistintarve saattaa olla jopa kymmeniä gigatavuja yhtä lämpötilaa kohden. Lämpötilajakaumien tarkka mallinnus onkin hankalaa perinteisin menetelmin, ja osittain tästä syystä lämpötilajakaumat huomioidaan yleensä vain hyvin karkeasti laskentamalleissa. Viime aikoina on kuitenkin herännyt kiinnostus laskea erittäin tarkkoja referenssiratkaisuja käyttämällä Monte Carlo -neutroniikkaohjelmia yhdessä tarkkojen termohydrauliikkaratkaisimien kanssa. Kun pyritään minimoimaan mallin kaikki epävarmuudet, on tärkeää että myös lämpötilajakaumat mallinnetaan suurella tarkkuudella, ja siksi lämpöliikkeen mallinnukseen liittyviä muistiongelmia on yritetty ratkoa viime aikoina erilaisin lähestymistavoin. Uusimmasta MCNP:n versiosta löytyykin LANL:n (Los Alamos National Laboratory) ja Michiganin yliopiston yhteistyönä kehitetty menetelmä, joka laskee Doppler-levennetyt vaikutusalat nopeasti neutronikuljetuslaskun aikana ("lennosta", engl. "on-the-fly") hyödyntämällä sarjakehitelmiä. Toinen vastaava menetelmä on parhaillaan kehitteillä MIT:n OpenMC -ohjelmaan.

Väitöskirjatyössä "Development of a stochastic temperature treatment method for Monte Carlo neutron tracking" kehitettiin TMS-menetelmä (Target Motion Sampling), joka sekin kykenee huomioimaan lämpöliikkeen vaikutuksen vuorovaikutustodennäköisyyksiin Monte Carlo -neutronikuljetuslaskun aikana. Menetelmässä kohtionuklidien lämpöliike arvotaan jokaisessa vuorovaikutuspisteessä, ja vuorovaikutustodennäköisyydet lasketaan kohtionuklidin lepokoordinaatistossa. Doppler-levennetyt vaikutusaloja ei siis ratkaista missään neutronikuljetuslaskun vaiheessa.

TMS-menetelmää käytettäessä muistia kuluttavat vaikutusalat täytyy tallentaa muistiin ainoastaan yhdessä lämpötilassa riippumatta systeemissä esiintyvien lämpötilojen lukumäärästä. Ainutlaatuisena piirteenä menetelmä mahdollistaa jatkuvien lämpötilajakaumien mallintamisen sellaisenaan: perinteisiä neutronikuljetusmenetelmiä tai muita olemassa olevia on-the-fly Doppler-levennysmenetelmiä käytettäessä lämpötilajakaumat täytyy mallintaa joukkona tasalämpöisiä materiaali-alueita, mutta väitöskirjassa kehitetty menetelmä kykenee mallintamaan myös lämpötilan suhteen epähomogeenisiä alueita. Tämä helpottaa merkit-

tävästi menetelmän käyttöä yhdessä ulkoisten lämpötilaratkaisimien kanssa, koska lämpötilajakaumat voidaan mallintaa muusta geometriasta riippumattomina.

Menetelmä kehitettiin VTT:n Serpent Monte Carlo -reaktorifysiikkaohjelmaa varten, ja Serpent toimi myös väitöskirjassa menetelmän testausalustana. TMS-menetelmä osoittautui erittäin tarkaksi, ja väitöskirjassa tehdyn kehitystyön ansiosta menetelmä on nykyisellään myös varsin tehokas: tuoretta polttoainetta mallinnettaessa Serpent-lasku hidastuu vain noin 10–20% perinteisiin menetelmiin verrattuna. Hidastus on kuitenkin selvästi suurempi, jos polttoaine sisältää lukuisia nuklideja.

TMS-menetelmä on ollut jo parin vuoden ajan osa Serpent 2:n jakeluversiota, joten siitä on hyötyä lukuisille Serpentin käyttäjille ympäri maailman. Sähköinen versio väitöskirjasta on saatavilla osoitteessa urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8243-3.

Kirjoittaja



Tkt Tuomas Viitanen

Tutkija
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
tuomas.viitanen@vtt.fi

ATS YG Summer Symposium

kokoaa vuosittain ydinvoima-alan nuoret



Kesätyöntekijät ja alan nuoret tapasivat ATS Young Generation Summer Symposiumin (entinen Summer Games) merkeissä 25.6.2015. Tapahtuman suosio on pysynyt ennallaan: noin 90 nuorta 14 eri yrityksestä ja tutkimuslaitoksesta kohtasi Lauttasaarella Poliisien majalla.

Teksti: Ida Tasa



Tekn. yo. Ida Tasa
Kesäharjoittelija
Fennovoima
ida.tasa@aalto.fi

Tilaisuus oli avoin kaikille seuran toiminnasta kiinnostuneille nuorille. Tapahtumassa kuultiin kolme ajankohtaista esitystä; puhujina olivat Esko Tusa Fortumilta, Juha Miikkulainen Fennovoimalta ja Olli Vilkaamo VTT:ltä. Kesäpäivä alkoi ATS YG:n puheenjohtaja Henri Ormuksen tervetuliaispuheella, jonka yhteydessä esiteltiin seuran toimintaa ja tulevia tapahtumia.

Informaatiota valikoiduista ja ajankohtaisista teemoista

Esko Tusa Fortumilta esitteli merkittävää työtä Fukushima onnettomuuden korjaustöissä. Fortum on kehittänyt Nuclear Removal Systemin (NURES), jolla cesiumin ja strontiumin pitoisuutta vedessä pystytään vähentämään ja näin veden aktiivisuus pienenee merkittävästi. Fortum toimittaa Fukushima Daiichi lai-

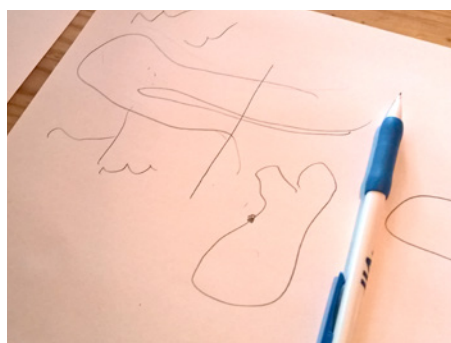
tokselle konseptin lisäksi myös cesiumille ja strontiumille selektiiviset suodatinmateriaalit. Fortumin menetelmällä saavutetaan korkeimmat puhdistusasteet tarjolla olevista vaihtoehdoista. Esitetyn suunnitelman mukaan projekti voi kestää vielä yli 30 vuotta.

Seuraavaksi puheenvuoron sai Fennovoiman Juha Miikkulainen, joka esitteli Hanhikivi-1 -projektin hankekatsauksen. Esityksen pääpaino oli laitosalueen valmistelutöissä. Miikkulainen käsitteli projektin historiaa ja mediahuomion kohteita, kuten aktivistien toimintaa laitosalueella ja Rosatomin roolia laitostoi-
mittajana. Fennovoiman rekrytoinnit jatkuvat intensiivisinä: vuoden 2015 lopussa yrityksen on tarkoitus työllistää noin 300 henkilöä. Osa henkilöstöstä alkaa jo siirtyä Pyhäjoelle laitospaikan valmisteluihin liittyviin työtehtäviin.

VTT:n Olli Vilkaamo kertoi tutkimusreaktori FiR 1:n käytöstäpoistoon liittyvistä vaiheis-

ATS:n verkostot vahvistuvat: ryhmäkilpailun voitto meni ensimmäistä kertaa mukana olleelle Helsingin yliopistolle. (Vasemmalla)


NURES-esityksen pitänyt Esko Tusa Fortumilta palkittiin toukokuussa Suomalaisella Insinööri-työpalkinnolla työstään radioaktiivisten nesteiden puhdistusmenetelmien kehityksessä. (Oikealla)



Ydinalan laaja tietämys oli tarpeen myös ryhmätöissä: kuvassa Nuclear Pictionary -kilpailun tuotoksia.

ta. Vuonna 1962 käynnistetty Triga-tutkimusreaktori sammutettiin lopullisesti 30.6.2015. Suomen ensimmäinen käytöstä poistettava ydinlaitos on käyttöaikanaan toiminut muun muassa Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten henkilöstön koulutuskeskuksena ja syöpähoitoja tarjoavana yksikkönä. Lisäksi reaktoria on käytetty tutkimuksessa. Tällä hetkellä ei ole vielä varmuutta siitä, tullaanko käytetty polttoaine palauttamaan Yhdysvaltoihin vai loppusijoitetaanko se Suomeen. Loppusijoitukseen liittyy lisähaasteita, koska purkujätteessä on alumiinia ja grafiittia, joita kotimaisten voimalaitosten purkujäte ei merkittävästi sisällä.

Verkostoituminen on tärkeä osa tapahtumaa

Esitysten jälkeen tarjottiin mahdollisuus verkostoitumiseen ryhmätöiden ja illanvieton merkeissä. Suurin osa paikalla olleista jäi kiisaamaan parhaan organisaation kiertopokaalista, jonka tänä vuonna voitti mukaansa ensimmäistä kertaa mukana ollut Helsingin yliopisto. Ryhmätyötehtävien ohjelmaan kuului esimerkiksi Nuclear Pictionary -haaste ja tikanheitto-rasti, jossa yritettiin paikantaa kaikki Suomen nykyiset ja myönteisen periaatepäätöksen saaneet ydinvoimalat. 

Summer Symposium on osallistujamäärältään yksi ATS:n suosituimmista tapahtumista.



Syöttövesilinjojen sekoituskohtia uusittiin Olkiluodon vuosihuolloissa

Olkiluodon vuosihuollot kestivät tänä vuonna 28 päivää. Molemmille yksiköille tehtiin huoltoja, korjauksia ja testauksia sekä vaihdettiin syöttövesilinjojen sekoituskohtia. OL1:llä oli tällä kertaa lyhyt polttoaineenvaihtoseisokki ja OL2:lla pidempi huoltoseisokki.

Teksti: Johanna Aho

OLKILUODON ydinvoimalaitos pidetään jatkuvasti uudenveroisena laitosyksiköillä vuorottelevien polttoaineenvaihto- ja huoltoseisokkien avulla. OL1:n polttoaineenvaihtoseisokki kesti tänä vuonna 10 päivää 13 tuntia 34 minuuttia. OL2:n huoltoseisokin pituus oli 17 päivää 13 tuntia ja 25 minuuttia.

Kevään vuosihuolloissa polttoaineenvaihdon lisäksi merkittävimpiä töitä olivat OL2:n pienjännitekojeistojen vaihdot yhdessä osajärjestelmässä sekä syöttövesijärjestelmän sekoituskohtien uusinnat molemmilla laitosyksiköillä. Huoltotöihin osallistui TVO:n oman

henkilöstön lisäksi noin 800 alihankkijoiden edustajaa.

Syöttövesilinjojen sekoituskohtien uusinta

Kummallakin laitosyksiköllä on kaksi prosessiveden syöttövesilinjan sekoituskohtaa. Näistä vaihdettiin viime vuosihuolloissa yhteensä kolme: OL1:llä toinen kahdesta ja OL2:lla molemmat. Edellisen kerran kyseiset järjestelmäosat uusittiin miltei 30 vuotta sitten. T-kappaleiden uusinta tehtiin suunnitellusti kevään vuosihuolloissa niissä havaittujen säröindikaa-



YTM Johanna Aho

Sisäisen viestinnän päällikkö
Teollisuuden Voima Oyj
johanna.aho@tvo.fi

Prosessissa kiertää iso vesimäärä

Olkiluodon yhden yksikön prosessissa vettä kiertää yhteensä 1 115 000 litraa. Lisävetä otetaan keskimäärin 20 kuutiota vuorokaudessa, kun osa prosessivedestä poistuu näytteenottoon ja puhdistukseen. Laitosyksiköiden normaalikäytössä reaktorissa höyrystynyt vesi kiertää höyrynerottimen ja höyrynkuvaimen kautta päähöyryputkiin, joista se ohjautuu edelleen korkeapaineturpiinille pyörittäen turpiinia ja sitä kautta myös sähköä tuottavaa generaattoria. Korkeapaineturpiinilta höyry johdetaan kosteuserottimien läpi välitulistimille, joissa höyry kuivataan ja lämpötila nostetaan 240 asteeseen. Tämän jälkeen tulistettu höyry

johdetaan vielä matalapaineturpiineille, jotka on niin ikään kytketty yhteisen akselin välityksellä generaattoriin. Prosessissa käytetty höyry ohjataan lopulta lauhduttimeen, joka lauhduttaa höyryn takaisin vedeksi kylmän meriveden avulla. Lauhduttimen jälkeen lauhdevesi puhdistetaan ja johdetaan esilämmittimien ja syöttövesipumppujen kautta takaisin reaktoriin. Syöttövesiputkissa veden lämpötilaa nostetaan erilaisilla esilämmittimillä lauhduttimen 20–30 asteesta askelittain noin 180 celsiusasteeseen. Vettä virtaa syöttövesijärjestelmässä täydellä teholla noin 1 250 kg sekunnissa.

Uutta syöttövesilinjan sekoituskohtaa asennetaan.



tioiden vuoksi. Kyseisiin putkisto-osiin kohdistuu erityisesti kuumaseisokin aikana väsyttävää lämpökuormaa, joka voi aiheuttaa aikojen saatossa putkiston sisäpinnassa säröilyä. Normaalin tehoajon aikana T-kappaleissa ei esiinny merkittäviä termisiä syklejä.

Kuumaseisokin aikana sekoituskohdassa kohtaavat syöttövesiputken noin 20-asteinen vesi ja sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmän (järjestelmän 321) kuuma kiertovirtaus, jonka lämpötila on noin 270 astetta. Järjestelmä 321 on jatkuvasti toiminnassa, ja sen kiertovirtauksen määrä on tehoajolla noin 70 kg/s ja kuumavalmiuden aikana noin 110 kg/s. Kuumaseisokin aikana sekoittuvien virtausten lämpötilaero saattaa siis olla noin 250 astetta.

Normaalikäytön aikana syöttöveden virtausmäärä on noin 1 250 kg/s. Kuumaseisokin aikana syöttövedettä syötetään pienellä virtauksella joko jatkuvasti n. 10 kg/s tai ajoittain: n. 30 kg/s – pysäytys – 30 kg/s – pysäytys jne. Teräksisen syöttövesiputken sisäpinta laajenee lämpötilan noustessa ja kutistuu alhaisessa

lämpötilassa. Putkiston ulkopinnalla lämpötilanvaihtelut ja siten myös mittamuutokset ovat pieniä. Kun sekoittumisen aikana tapahtuu suuria lämpötilamuutoksia sykleittäin, kohdistuu teräspinnalle vaihtelevaa termistä kuormaa, joka aiheuttaa seinämän materiaalin väsymistä. Tämän seurauksena putkiston pinnalle voi muodostua säröilyä. Laitosyksiköitä on usean vuosikymmenen käytön aikana ajettu hieman eri tavoin, joten terminen kuormitus on ollut eri ajanjaksoina kussakin T-kappaleessa hieman erilaista.

Termisen kuormituksen vähentämiseksi laitosityksiköillä on selvittävänä prosessimuutos, jolla putkistoa väsyttävät lämpösyklit pystytään minimoimaan miltei kokonaan kuumavalmiustilan aikana. Kuumavalmiuden aikana tarvittava vähäinen syöttövesimäärä sekoitettaisiin 321-kiertovirtaukseen eri paikassa; sellaisessa, jossa kiertovirtauksen lämpötila on alhaisempi. Mikäli laitosityksiköiden käyttöä jatketaan muuttamatta näiltä osin prosesseja, on sekoituskohtien uusiminen arvioiden mukaan edessä jälleen 2040-luvulla.

– Sekoituskohdat toimivat laitosityksiköillä jo nyt miltei optimaalisesti, mutta prosessitekni- sen muutoksen avulla järjestelmäosien vaihtoa ei tarvitsisi tehdä edes 30 vuoden välein. Rasi- tetuimpien putkistokohtien sisäpintojen kiillot- taminen on myös lisännyt putkistojen väsymis- kestävyyttä. Kaiken kaikkiaan sekoituskohtia tarkastetaan määräaikaistarkastuksin laitok- sellamme hyvin tiiviisti, jottei niissä pääse syn- tymään mitään ennalta arvaamattomia ilmiöitä. Itse asiassa tämä on yksi eniten tarkastetuista kohteista laitosityksiköillämme, lujuuslasken- nan asiantuntija Paul Smeekes kertoo.

Pienjännitekojeistojen uusinta

Vuosihuolloissa uusittiin myös pienjänniteko- jeistoja, joiden uusinta on osa suunnitelmallista laitosityksiköiden pitkäntähtäimen kehittämistä ja turvallisuuden parantamista. Kojeistojen uu- sintaprojekti SIMO alkoi vuonna 2010 ja päättyi vuonna 2016. Tänä aikana OL1:llä ja OL2:lla vaihdetaan yhteensä 95 kojeistoa ja 20 jakelu- muuntajaa sekä uusitaan kaapelointeja. Nykyi-



Syöttövesilinjan T-kappale.

siin kojeistoihin varaosien saaminen alkaa olla hankalaa. Tekniikka on peräisin 1970-luvun lopulta. Projektin tavoitteena onkin ennakoita ja minimoida käyttöön liittyviä riskejä. Laitosyksiköt halutaan pitää uudenveroisina ja samalla pidentää niiden käyttöikä.

Kevään vuosihuolloissa OL2-laitosyksiköllä uusittiin yksitoista B-osajärjestelmien kojeistoa ja kolme jakelumuuntajaa. Lisäksi C-osajärjestelmän 660V:n dieselvarmistettuun kojeistoon lisättiin määrättyissä vikatilanteissa pääkatkaisijan aukeamisen varmistava sarjakytkin ja uusittiin kaksi kojeistoa kahdeksi eri kojeistoksi. Vaihdetut kojeistot sisälsivät kaikkiaan 63 kytkinlaitoskaappia ja kolme muuntajakaappia. Kaapelointeja uusittiin noin kahdeksan kilometrin matkalta. Kojestojen asennuksiin osallistui vuosihuoltojen aikana peräti 230 henkilöä. Asennuksia tehtiin vuorotyönä 12 tunnin jaksoissa. Työt sujuivat kokonaisuudessaan hyvin, myös laatu- ja aikataulutavoitteet saavutettiin.

Ensi vuonna päättyvässä projektissa uusitaan vielä OL1-laitosyksikön D-osajärjestelmän kojeistoja ja muuntajia sekä vaihdetaan lai-

tosyksiköiden väliset 660V-dieselvarmistetut kojeistot.

Polttoainetta vuoden tarpeiksi

Kutakin käyttöjaksoa eli vuotta varten reaktoriin 500 polttoainepöytä vaihdetaan vuosihuolloissa vajaa neljännes eli noin 100–110 nippua. Vaihdetun polttoaineen määrä vastaa ylijäämäreaktiivisuudeltaan kyseisellä jaksolla tuotettavaksi suunniteltua energiamäärää.

Vuoden 2015 vuosihuolloissa polttoainetta vaihdettiin OL1:llä 114 ja OL2:lla 100 nippua. Vaihtotyöt sujuivat hyvällä vuosikymmenien aikana saavutetulla kokemuksella aikataulun mukaisesti. OL1:llä on tehty vuosihuoltoja 36 kertaa ja OL2:lla 34 vuonna.

Huolletuilla laitosyksiköillä tuotetaan sähköä jälleen vuoden verran. Ensi vuoden vuosihuoltojen muutostyöt ovat kuitenkin jo suunnitteilla laitosyksiköiden turvallisen ja tasaisen sähköntuotannon varmentamiseksi. ⚙️

Ydinvoiman kilpailukyvyssä on parantamisen varaa

ATS YDINTEKNIKAN toimitus tiedusteli TVO:lta ydinvoiman kilpailukykyä ja alkuvuonna TVO:lla käydyistä yhteistoimintaneuvotteluista.

Viestintä- ja yhteiskuntasuhteiden johtaja Anna Lehtiranta, onko alkuvuoden yt-neuvottelut yritys parantaa Olkiluoto 1–3:n kilpailukykyä vai johtuiko se päätöksestä olla hakematta rakennuslupaa Olkiluoto 4:lle?

– TVO:n toimintojen kehittäminen ja yt:t johtuivat markkinatilanteesta, niillä etsitään keinoja kustannustehokkuuden parantamiseen ja yhtiön kilpailukyvyyn varmistamiseen. Talouskasvun pysähtyminen on johtanut sähkön kysynnän laskuun. Samanaikaisesti sähkön tarjonta on lisääntynyt, kun uusiutuvaan energiaan investoidaan tukien avulla. Tilanne on johtanut siihen, että sähkön markkinahinta on laskenut.

Ydinvoiman tuotantoon kohdistuvat kustannukset ovat puolestaan nousseet, mikä on johtanut

ydinvoimalla tuotetun sähkön kannattavuuden heikentymiseen, toteaa Lehtiranta.

Toimituksen selvityksen mukaan Nordpoolin sähkön hinnan vuosikeskiarvo on laskenut vuoden 2010 huippuarvostaan 57 €/MWh ja oli viime vuonna 36 €/MWh.

Toimitusjohtaja Jarmo Tanhua kirjoittaa Ytimekkään (1/2015) pääkirjoituksessa ydinvoiman kilpailukyvyyn parantamisesta. Yksi esitetyistä keinoista on ydinvoimaloiden laitteiden standardointi EU:n laajuisesti. Onko tällä tai muulla vastaavalla saralla edetty?

– Nyt tarvitaan moninaisia keinoja, sekä voimayhtiöiden toimintaan että toimialan sääntelyyn ja markkinoiden toimivuuteen liittyviä, jotta ydinsähköntuotanto pidetään kilpailukykyisenä, aloittaa Lehtiranta.

– Ydinvoiman kustannuksia nostaa tosiaan standardoinnin ja harmonisoinnin puute. Laitokselle toimitettavat laitteet ja järjestel-

mät ovat monien erilaisten vaatimusten takia kalliita. Sarjavalmistuksen hyötyjä sekä standardoidun ja sertifioitun teollisen tuotannon mahdollistamaa laatua tulisikin jatkossa päästä hyödyntämään myös ydinvoimalaitoksilla.

– Myös ydinvoimayhtiöille laitteita ja järjestelmiä toimittava teollisuus hyötyisi standardeista, kun vaatimukset yhdenmuikaistuisivat, luvitus helpottuisi ja markkinat kasvaisivat. Nyt käy usein niin, että laitetoimittajat ovat haluttomia osallistumaan hankalaksi koetun teollisuudenalan tarjouskilpailuihin eikä kilpailua synny. Ydinvoimayhtiö maksaa hankkimistaan laitteista moninkertaisen hinnan muuhun teollisuuteen verrattuna, Lehtiranta kertoo.

– Toimialalla on herätty tilanteeseen, ja TVO on aloittanut yhdessä muiden toimijoiden kanssa toimenpiteet, joilla tilanteeseen pyritään vaikuttamaan EU-tasoisesti. Asia on kuitenkin sellainen, että nopeaa käännettä taitaa olla turha odottaa, Lehtiranta aavistaa.



Kokoukseen osallistui kaikkiaan 48 henkeä, jotka edustivat 17 maata. Lisäksi edustettuina olivat EC (European Commission), ENEN (European Nuclear Education Network) IAEA (International Atomic Energy Agency) ja NEA (Nuclear Energy Agency).

Euroopan ydinenergia- tutkimuksen johtajat Suomessa

VTT isännöi kesäkuussa Euroopan atomienergian tutkimusseuran (EAES European Atomic Energy Society) vuosikokousta Naantalissa. Paikalle saatiin merkittävä osa ydinenergiatutkimuskeskusten johtajista. Hyvään osanottoon vaikuttivat osaltaan Suomessa menossa olevat kansainvälisesti kiinnostavat hankkeet.

Teksti: Timo Vanttola



TKT Timo Vanttola

Ydinturvallisuustutkimusalueen päälikkö
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
timo.vanttola@vtt.fi

EUROOPAN ATOMIENERGIAN tutkimusseuran päätavoitteita ovat tiedonvaihto kulloinkin ajankohtaisista ydinenergian kysymyksistä, julkinen hyväksyntä, ydinenergian osaamisten vahvistaminen, seuraavan sukupolven reaktorit, ydinenergiatutkimus ja kehitys sekä jätteenkäsittely ja käytöstäpoisto. Viime aikoina seuraa on erityisesti huolettanut monessa maassa suppevat resurssit ja ikääntyvät tutkimuslaitteistot. Seuran alaisuudessa toimii tutkimusreaktorien alatyöryhmä RROG (Research Reactor Operation Subgroup), johon myös VTT osallistuu.

Seura oli perustettu jo ydinenergian rauhanomaisen käytön alkuvuosina. Niinpä se nyt juhlistikin 60-vuotista taivaltaan illalli-

sistunnossa, jossa juhlapuhujana oli seuran ikäpresidentti Itävallan Helmut Böck. Seuran toiminnassa on tällä hetkellä mukana noin 25 maata ja järjestöä. Suomi/VTT liittyi seuraan 80-luvun alussa. Tällä hetkellä seuran johtoryhmässä VTT:ltä on liiketoiminta-alueen johtaja Kari Larjava. Hän toimii myös seuran puheenjohtaja seuraavan vuoden ajan. Allekirjoittanut on seuran valmistelevan työryhmän jäsen. André Versteegh, Hollannin NR-G:n aiempi johtaja, on viime vuodet toiminut seuran toimeenpanevana johtajana. Suomen kokouksen järjestelyihin osallistui ansiokkaasti Anna Nieminen ja Anne Räsänen.

Kokous alkoi isäntämaan ajankohtaisilla katsoyksilla, joista ensimmäinen oli Kari Larjavan

VTT-raportti vähähiilisestä energian tuotannosta. Muut esitykset saimme työ- ja elinkeinoministeriöstä Herkko Plitiltä, sosiaali- ja terveystieteiden ministeriöstä/STUKista Ritva Blyltä ja Fortumilta. Jälkimmäinen, Simon-Erik Olluksen esitys, keskittyi pohjoismaisiin energiamarkkinoihin ja ydinenergian osuuteen siinä. Hyvää tukea saimme myös TVO:lta ja Posivalta, jotka järjestivät osallistujille vaikuttavan ohjelman kokouksen päättäneelle Olkiluodon ekskursiolle.

Ydinvoiman tila Euroopassa

Suuren osan kokouksen ajasta vievät tyypillisesti maakohtaiset katsaukset. Näissä on viime vuosina näkynyt vahva kahtiajako. Ensinnäkin Saksan "Energiewende" näyttää peruuttamattomalta ja samalla painitaan sähkötuotannon ja siirtoverkon epätasapainon kanssa, kuten Joachim Knebel (KIT) kertoi. Ydinvoiman alarajo näyttää jatkuvan myös Belgiassa ja Sveitsissä, mutta Saksaa hillitymmällä vauhdilla. Toisaalta Ison-Britannian uuden ydinenergian hankkeet näyttävät etenevän, eikä Steve Napierin (NNL) mukaan Fukushima aiheuttanut pysyvää muutosta ydinenergian julkisessa hyväksyttävyydessä. Keski-Euroopan maissa, kuten Puola, Tšekki ja Unkari, joissa uutta ydinvoimaa ollaan suunnittelemassa, hankkeet näyttävät etenevän vaihtelevasti. Näihin vaikuttavat Fukushima ja yleinen taloustilanne. Myös ydinvoiman eurooppalaisessa suurvallassa, Ranskassa, tapahtuu: ydinenergian osuutta pyritään jonkin verran alentamaan sähkömarkkinoilla, noin 50 %:n tasolle, ja samalla ydinenergian ja uusiutuvan energian yhteensovittamisen eteen tehdään töitä. Ranskan ydinenergian rakentamisessa ollaan myös hakemassa uusia mal-

leja. Nämä seikat tulivat esiin Hervé Bernardin (CEA) esityksessä.

Fukushiman aiheuttamat turvallisuuden parantamistoimet ovat pääsääntöisesti edenneet jo pitkälle. Samalla monessa maassa fokus on kääntynyt laitosten käytöstäpoiston ja loppusijoituksen kysymyksiin. Tunnetusti paikan valinnat näyttävät tuottavan tuskaa. Erityisesti käytöstäpoiston valinnoissa maissa ydinturvallisuusosaamisen säilyttäminen herättää huolta. Kansainvälinen yhteistyö tutkimuksessa ja tutkimuslaitteistoissa nähdään yhtenä osaamisen varmistamiskeinona.

Kokouksen erityisteemat liittyivät koulutukseen ja turvallisuuskulttuuriin

Maakatsausten lisäksi EAES-kokouksissa nostetaan tarkasteluun erityisteemoja. Tänä vuonna esillä oli ydinenergiakoulutuksen eurooppalaisen verkoston (ENENin) toiminta ja sen kytkeytyminen kansallisiin ohjelmiin. Alustajana toimi verkoston puheenjohtaja Walter Ambrosini. Maakohtaisissa esityksissä ilmeni mm., että Ranskassa alalle valmistuu joka vuosi yli 800 maisterin ja 200 tohtorin tutkinnon suorittanutta, joista 20 % on ulkomaalaisia. Kansainvälisiä kouluttamismavaihtoehtoja siis löytyy! Isommassa ydinenergiamaissa, kuten Isossa-Britanniassa, on myös pyritty systematisoimaan ja tukemaan

henkilöiden urakehitystä ammattiuran myöhemmissäkin vaiheissa.

OECD/NEAn Andrew White sekä IAEA:n Birgitte Skarbo alustivat turvallisuuskulttuurista ja sen merkityksestä tutkimuslaitoksissa. Pohjimmiltaan turvallisuuskulttuurikysymykset tutkimusorganisaatioissa eivät näytä juurikaan eroavan muista turvallisuuskriittisistä organisaatioista, vaikka tiettyjä erityispiirteitä esiintyy, kuten koejärjestelyjen ainutkertaisuus.

Muita kokouksen pohdinnan aiheita olivat tällä kertaa tutkimuslaitteistojen pitkäaikaiskäyttöön liittyvät kysymykset. Pitkäaikaiskäyttöä pyritään suosimaan, koska uudet laitteistot ja erityisesti tutkimusreaktorit tulevat pääsääntöisesti kalliimmiksi. Uusia laitteita on kuitenkin rakennettava ikääntymisen ja turvallisuus- sekä turvamääräysten kiristymisen myötä, jos vastaava kapasiteetti halutaan säilyttää tai uusia ominaisuuksia halutaan lisätä. Kansainvälinen yhteiskäyttö tietenkin helpottaa investointeja kustannusten jakautumisen kautta. Isojen infrojen trendistä todettakoon, että tutkimusreaktoreita on eri maissa ollut kaikkiaan 737, joista tällä hetkellä 245 on toiminnassa 54 maassa. Kymmenkunta uutta on rakenteilla.

Tutkimuksen yhteistyön vähäisyys EU-hankkeiden ulkopuolella huoletti foorumia. Tätäkin teemaa pohditaan seuraavaan tapaamiseen mennessä, jolloin Puola on isäntänä. 🌐



EAES-kokouksessa vaihdetaan informaatiota erityisesti ydinenergiatutkimuksen tilasta Euroopassa. Etualalla Wienin teknillisen yliopiston professori Helmuth Böck, joka piti seuran 60-vuotisjuhlapuheen.

Testing and modelling of phenomena arising in an aircraft impact against concrete structures

Ari Vepsä, Kim Calonius, Arja Saarenheimo
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

One of the possible threats for a nuclear power plant is an intentional large passenger aircraft impact against, for example, the reactor building of the plant. Resistance of the structures against such an impact is shown with predictive models which have to be validated against relevant experimental data. The phenomena that arise in such a crash were studied experimentally as well as numerically and analytically within SAFIR2014 research projects IMPACT2014 and SMASH.

Yksi mahdollisista uhista ydinvoimalaitosten turvallisuudelle on suuren matkustajalentokoneen tahallinen törmäys esimerkiksi laitoksen reaktorirakennukseen. Rakenteiden kestävyys tällaista törmäystä vastaan todennetaan ennustavilla menetelmillä, jotka pitää kelpoistaa soveltuvan kokeellisen datan avulla ennen kuin niitä voidaan luotettavasti käyttää. Ilmiöitä, jotka liittyvät tällaiseen törmäykseen, tutkittiin sekä kokeellisesti että teoreettisesti SAFIR2014-tutkimusohjelmaan kuuluneissa projekteissa IMPACT2014 ja SMASH.

THE TERRORIST ATTACKS against the twin towers of the World Trade Centre in 2001 showed that a deliberate aircraft crash against large civil structures is a possible threat and should be taken into account when designing these structures. Such a crash against the reactor building of a nuclear power plant could lead to devastating consequences. For this reason it is extremely important that the safety related structures of a plant could withstand such a crash. For example, in Finland this has been taken as one of the design bases when designing and building new plants.

Resistance of the structures against such an impact is shown with predictive models. In order to be reliable employed, used methods, models and formulas have to be validated against relevant experimental data. The problem is that suitable data is scarcely available in public. Research projects IMPACT2014 and SMASH, both belonging to the Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety SAFIR2014, concentrated on testing and modelling of the phenomena that arise in an aircraft crash against concrete structures.

There are several issues to be considered when assessing safety of the building impacted by a large passenger airplane. Firstly, huge forces are applied to the impact location. These cause large deformations and possible yielding of the reinforcement bars in a case of a reinforced concrete structure. In addition to bending behaviour failure, there are several other damage modes. Large pieces of concrete may detach from the rear side of the wall or a punching failure may take place in the impact location due to high shear forces. Hard parts of the impacting aircraft may even perforate through the outer wall of the impacted structure. In a NPP, vibration that is induced by the impact propagates from the impact point e.g. downwards to the base slab and

via the base slab to the internal structures of the building causing possible malfunction of the safety-critical equipments. The fuel tanks of the aircraft surely rupture during the impact and the fuel inside them bursts out. Part of the released fuel burns in an initial fireball while the other part spreads around forming burning pools of fuel around the building and in the worst case inside it if the fuel can enter the building. In addition to fires, fuel tanks increase the impact force due large mass concentration, consequently increasing the deformations at the impacted location.

Aforementioned aspects of an aircraft impact were studied separately in the experimental tests carried out within IMPACT2014 project. The project was continuation for the similar testing projects that have belonged to the previous SAFIR programmes. The project was carried out in collaboration with numerous domestic and foreign organizations operating in the field of nuclear energy. The tests were designed and funded together and executed by VTT Technical Research Centre of Finland with its impact test bed, shown in Fig. 1.

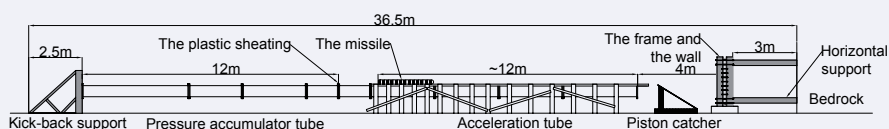


Figure 1. Schematic drawing of the impact — test bed at VTT.

Selected tests were also studied analytically and numerically within a project called SMASH, which also belonged to SAFIR2014. Predictive models were generated for the structures under study using different methods, the tests were simulated with these models, the results were compared with the corresponding measured ones, conclusions were

made regarding reliability of the used methods and models used and the models were updated when necessary. The methods and tools used included a commercial finite element software, an in-house FE software and more simple analytical models. Testing and modelling of propagation and damping of vibration are discussed in the following as an example.

Testing for propagation and damping of vibration

Vibrations in an entire building induced by a highly dynamic impact are one of the issues that need to be assessed in order to ensure the functionality of critical equipment and components of a nuclear power plant. Damping is an essential phenomenon in these studies. In standards, damping ratios are provided only for linear analyses and thus proper damping factor to be applied in nonlinear vibration studies is an open question. Nonlinear material behaviour is absorbing energy and thus damping the vibrations.

In a series of three vibration propagation tests, tagged as VOA-C, a structure having a front wall, a floor and a rear wall, each being 150 mm thick, was impacted with soft projectiles having mass of 50 kg and the impact velocity between 111.2 m/s and 116.8 m/s. These soft projectiles are much more deformable than the structure that they impact against, thus simulating the fuselage of an airplane. In addition to impact tests, the structure was subjected to modal testing and analysis in different conditions.

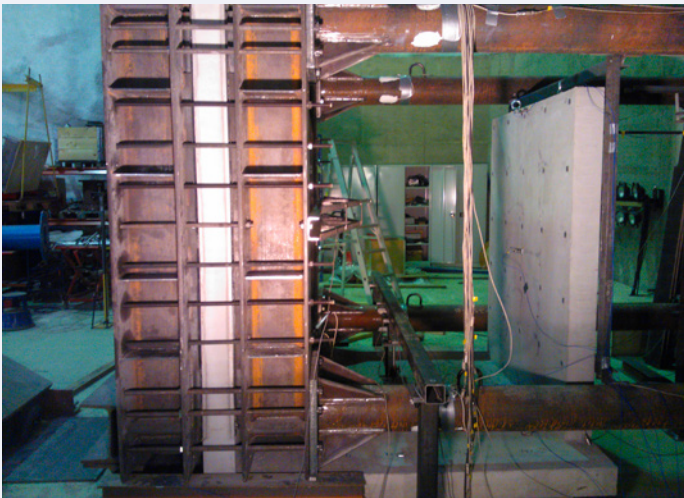


Figure 2. The wall-floor-wall reinforced concrete structure used in the vibration propagation and damping test series VOA-VOC as placed inside the test frame. The impacted wall is on the left.

The tested structure, shown in Fig. 2., enabled impact-induced vibrations to travel downwards from the impact point to the “base slab” and ultimately upwards along the rear wall, simulating very coarsely the internal structures of a reactor building. The front wall of the structure was clinched between two parts of a steel frame, providing simple supporting boundary conditions for the upper and the side edges of the wall. The steel frame was connected to the wall of the test hall with four horizontal pipes. In addition, the rear part of the tested structure rested freely on a 20 mm thick and 150 mm wide elastomer strip. The response of the structure was measured with strain gauges on the reinforcement bars inside the concrete and displacement

sensors as well as accelerometers placed mainly along the symmetry plane of the structure along the propagation path of vibration.

Modelling of the vibration propagation and damping tests

The main aim of the first study discussed here was to carry out sensitivity analyses on the test set-up used in test series VO in order to find out the essential phenomena to be considered in the numerical studies. In addition to the structure itself, it is important to assess also the effect of the test frame. This rather heavy steel frame affects the vibration behaviour of the whole test set-up. Also, the effect of the way to apply the loading in a simulation was studied. There are two different types of approaches: loading function calculated with the Riera method and a so-called coupled approach where also the projectile is included in the model. The effect of structural damping was also tentatively studied.

Dynamic nonlinear simulations as well as some eigenmode analyses were conducted with a commercial finite element code Abaqus/Explicit version 6.14-1. The FE mesh consisted mainly of linear four-node shell elements. Beam or truss elements were used for some bolts and small steel beams. Element size for the projectile, concrete structure and frame was on average 5 mm, 50 mm and 70 mm, respectively. Some nonlinear spring elements were used to model the supports such as the elastomer bearing under the rear wall. The model is shown in Fig. 3.

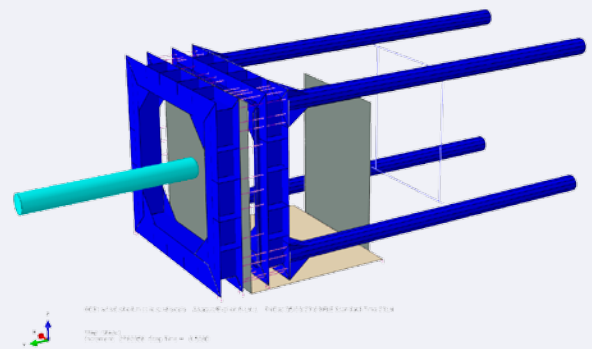


Figure 3. A finite element model of the tested structure with the supporting frame and the impacting projectile just touching the front wall.

As an example of the results, the graph on the left in Fig. 4. shows the predicted horizontal displacement of the front wall centre in cases with Riera load (R-F) and simulated projectile (M-F) together with the measured curve. The graph on the right shows the corresponding results from the rear wall top. Modelling the projectile explicitly increased the deflection of the impacted wall. However, this did not affect much the movement of the whole structure.

The graph on the left in Fig. 5. shows the acceleration of the rear wall top in cases R-F, M-F and the test itself for the first 0.03 s. The peak acceleration values were much higher when the projectile was modelled. The graph on the right shows the floor response spectra of rear wall top up to 250 Hz. The differences begin to show after 100 Hz. Beyond that frequency also the measured values differ from the calculated ones. This is partly due to the fact, that in these calculation cases no structural damping was used.

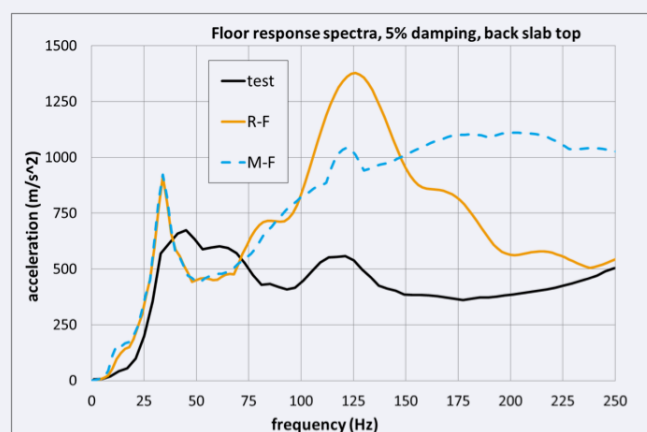
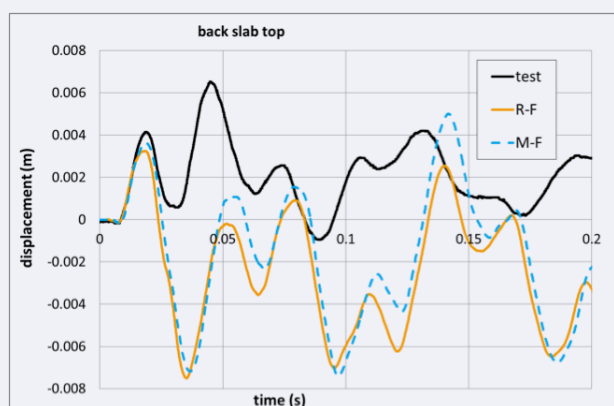
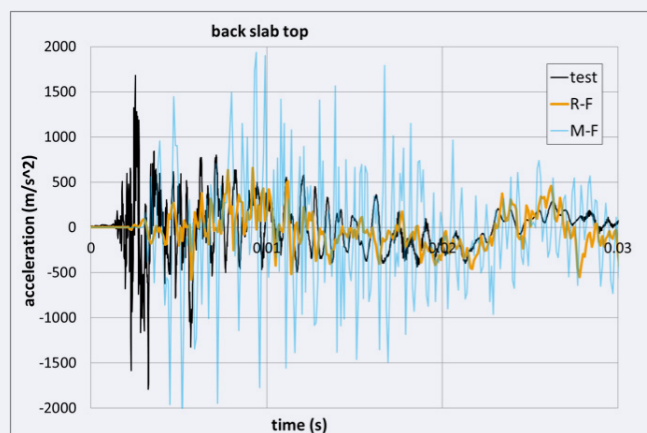
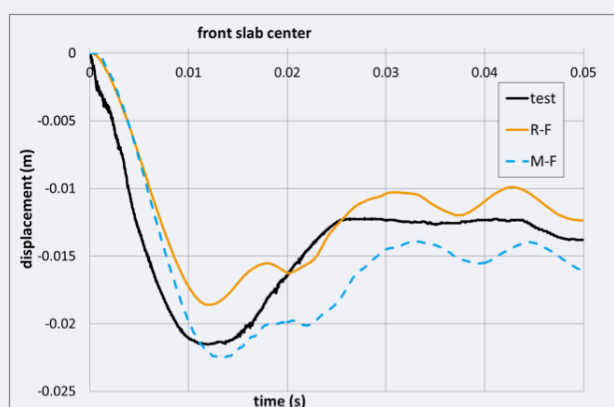


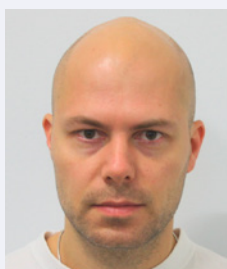
Figure 4. Displacement of the front wall centre (on top) and the rear wall top (on the bottom) in the test and in modelling cases R-F and M-F.

Figure 5. Acceleration of the rear wall top (on top) and the floor response at the same location (on the bottom) in the test and in modelling cases R-F and M-F.

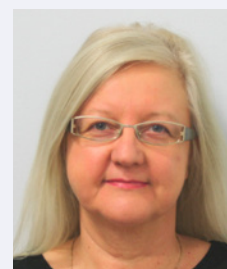
Writers



M.Sc. (Tech.) Ari Vepsä
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.
Senior Scientist
Team of Structural Integrity
ari.vepsa@vtt.fi



M.Sc. (Tech.) Kim Calonius
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.
Research Scientist
Team of Structural Integrity
kim.calonius@vtt.fi



Lic.Sc. (Tech.) Arja Saarenheimo
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.
Research Team Leader
Team of Structural Integrity
arja.saarenheimo@vtt.fi

Ihmisen käyttäytymisen merkitys turvallisuuskriittisillä aloilla

Kevään toinen jäsentilaisuus järjestettiin Aalto-yliopistolla 26.5. Tilaisuudessa kuultiin korkean profiilin puhujia: Trafin ilmailujohtaja Pekka Henttu esitteli Germanwingsin onnettomuuden vaikutuksia ilmailualalle ja psykologi, VTM Lasse Nurmi ihmisen käyttäytymistä hätätilanteissa käyttäen esimerkkeinä muun muassa kouluampumisia.

Teksti: Anna Nieminen

Käyttäytyminen hätätilanteessa

Nurmen mukaan 12–25 % ihmisistä käyttäytyy katastrofitilanteessa suhteellisen rauhallisesti ja osallistuu muiden auttamiseen, 50–75 % joutuu shokkiin, josta toipuvat pian, ja voivat auttaa pelastustoimissa käskettyinä. Kuitenkin jopa 10–12 % reagoi täydellisellä kontrollin menetyksellä, joka ilmenee apatiaa, voimakkaana ahdistumisena ja aggressiopurkauksina. Kriisitilanteen hallintaan vaikuttavat toki vaistoon tai biologiseen perimään liittyvät lainalaisuudet ja yksilön arvot sekä asenteet,

mutta merkittävin tekijä on koulutus, joka antaa valmiudet ja osaamisen toimia vaikeissa tilanteissa. Koulutukseen liittyy puolestaan läheisesti organisaation turvallisuuskulttuuri sekä perinteet. Myös tilannetietoisuuden välittyminen kaikille osapuolille on ensisijaisen tärkeää.

Lopulta kriisitilanne ratkeaa yksilön tekemien päätösten kautta. Valitettavasti stressitilan kohotessa, ihmisen suoritustaso alenee Yerkes-Dodsonin lain mukaisesti. Yksinkertaisissa voimaa vaativissa tehtävissä stressitason kohoaminen voi olla jopa eduksi, mutta vaativissa älyllistä kapasiteettia vaativissa tilanteissa suoritus kärsii jo matalasta stressitasosta. Päätöksenteko muuttuu sitä vaikeammaksi mitä vähemmän aikaa siihen on käytettävää, mitä huonompi on tilannetietoisuus tai mitä enemmän on analysoitava lopputulokseen vaikuttavia tekijöitä ja niiden välisiä yhteyksiä. Päätöksentekoa voidaan helpottaa yksinkertaisilla tarkastuslistoilla, tehtävien jakamisella ja ristiintarkastuksella sekä hetkellisesti sulkemalla tilanne ulkopuolelle.

Germanwingsin onnettomuus

Ydinvoima- ja ilmailualalle yhteistä on riski eli todennäköisyyden ja seurausten tulo. Riskin tekijät ovat erilaiset suhteessa toisiinsa, mutta tulos lienee kuitenkin samaa luokkaa. Pekka Henttu kertoi tilaisuudessa Barcelonasta

Düsseldorfiin 24.3. matkanneen Germanwings-lentoyhtiön Airbus A320 -lentokoneen maahansyöksyyn johtaneista tekijöistä ja ilmailualan reagoinnista onnettomuuteen.

Germanwingsin onnettomuuden taustalla vaikutti ensisijaisesti yhden henkilön mielen-terveyden järkkyminen. Edesauttavina tekijöinä olivat turvaoven tekniset yksityiskohdat ja ohjeisto, jonka perusteella ohjaamoon saattoi jäädä yksin. Jälkimmäisiin tekijöihin on helppo vaikuttaa muuttamalla suunnittelua ja sääntöjä, mutta työntekijöiden henkisen terveydentilan seuraaminen on haastavaa.

Hentun mukaan tässä tärkeimmässä roolissa ovat työtoverit, jotka voivat havaita muutuneen käytöksen. Ongelmaksi myös Germanwingsin tapauksessa kuitenkin muodostui terveyteen liittyvien tietojen suoja, jota tulisi mahdollisesti löyhentää edes terveydenhuollon ammattilaisten välillä. Myös pilottien taasisin ajojen toistuvaa psykologista arviointia voitaisiin harkita.

Ennen maahansyöksyä lennonjohtajajärjestelmään saatiin tieto, että koneen korkeudeksi on asetettu 100 jalkaa. Korkeuden muutoksiin on saatava lupa lennonjohtolta, joka tiedusteli syytä muutokselle saamatta kuitenkaan vastausta. Maassa siis oli tilannekuva siitä, mitä tulee tapahtumaan jo ennen maahansyöksyä, mutta ei keinoja vaikuttaa tilanteeseen. Lentokoneiden kauko-ohjausjärjestelmät voisivat auttaa tällaisissa tilanteissa, mutta ne loisivat myös uudenlaisen merkittävän turvallisuus-



DI Anna Nieminen

Vastaava päätoimittaja
ATS Ydintekniikka
anna.nieminen@vtt.fi

riskin. Henttu arveli, että 10 vuoden päästä mahdollisesti rahtikoneita voitaisiin ohjata maasta käsin.

Turvallisuuskulttuuri

Ydinvoima-alan turvallisuuskulttuuri koetaan ensiluokkaiseksi vähintään alan sisällä. Onnettomuustilanteita harjoitellaan yhdessä ydinvoimalaitoksen ja viranomaisten kesken. Tämän pitäisi taata se, että etukäteistieto mahdollisesta onnettomuudesta on riittävä ja tilannetietoisuus on ajantasainen kaikilla osapuolilla. Emme voi kuitenkaan tuudittautua, että tietyn protokollan mukaan etenevät harjoitukset valmistavat meidät kaikkiin mahdollisiin tilanteisiin. Tämän osoitti jo Fukushima-tapahtumat: tätä ennen ei ollut otettu huomioon usean laitosesikön samanaikaisista onnettomuuksista. Myös ihmisen toiminta todellisessa tilanteessa eroaa harjoituksesta stressitason kohoamisen vuoksi. Tähänkään ei voida täysin varautua ennakoon. Yhteinen tekijä turvallisuuskriittisillä aloilla on kuitenkin tapahtumista oppiminen. ☸

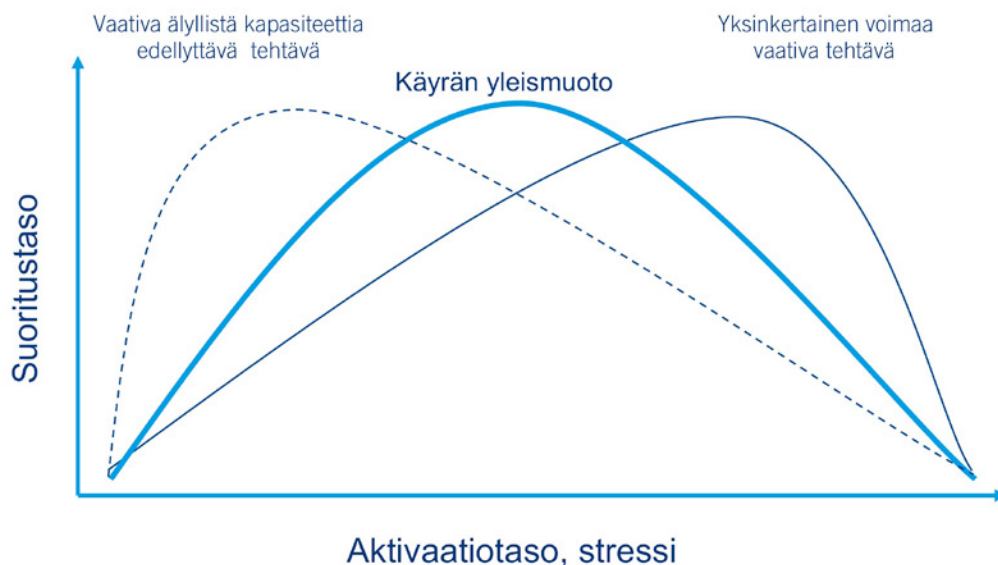


LASSE NURMI on perehtynyt erityisesti ihmisen katastrofikäyttäytymiseen ja hätätilannejohtamiseen toimien muun muassa sotilaspsykologina kahdeksan vuotta, Poliisiammattikorkeakoulun yliopettajana 20 vuotta sekä KRP:n asiantuntijatehtävissä 7 vuotta. Hän on ollut Onnettomuustutkintakeskuksen asiantuntijana ja tutkintalautakunnan jäsenenä useissa turvallisuustutkinnoissa.



PEKKA HENTTU on Liikenteen turvallisuusvirasto Trafian ilmailutoimialan ylijohtaja. Hän edustaa Trafia alansa kansainvälisessä yhteistyössä sekä toimii myös Suomen ilmailujohtajana. Ennen Trafiin tuloaan Henttu toimi mm. säännöstöasioista vastaavana päällikkönä sekä teknisenä pääohjajana Finnairissa. Hentulla on liikennelentäjän koulutus.

Yerkes-Dodsonin laki kuvaa stressin ja suoritusten välistä yhteyttä.



Diplomityö: Uuden Apros-neutroniikkamallin validointi

Joona Leskinen
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Diplomityössä validoitiin ensimmäistä kertaa Apros-ohjelman nodaalineutroniikkamallia VVER-1000 mittausdataa vasten.

YDINVOIMALAITOSTEN turvallisuusanalyysit kuuluvat VTT:n ja Fortumin yhdessä kehittämän Apros-ohjelmiston tärkeimpiin käyttökohteisiin. Turvallisuusanalyysissä laskentatulosten luotettavuus on ensiarvoisen tärkeää, minkä johdosta käytettävät mallit on validoitava huolellisesti. Laskentamalleja on vertailtava sekä muihin vastaaviin malleihin, että myös saatavilla oleviin mittaustuloksiin.

Suomeen on tällä hetkellä suunnitteilla AES-2006-tyyppinen ydinvoimalaitos, minkä johdosta Apros:n neutroniikkamallien validointi kyseisen tyyppisen laitoksen tapauksessa on mielenkiintoinen. AES-2006-tyyppiselle laitokselle mitattua koedataa ei kuitenkaan ole saatavilla. Laitos on varsin samankaltainen kuin VVER-1000-tyyppinen ydinvoimalaitos, joten VVER-1000-tyyppisellä laitoksella saadut mittaustulokset ovat käyttökelpoisia myös AES-2006 laitoksen laskentamallien validointiin.

Diplomityössä validoitiin Apros-ohjelmistoon aiemmin toteutettua neutroniikkamallia Kozloduy:n VVER-1000-tyyppisen ydinvoimalaitoksen käyttöönottokokeiden mittausdataa hyödyntäen. Samaa dataa on myös aiemmin käytetty kansainvälisessä benchmark-tehtävässä, johon myös VTT on osallistunut HEXTRAN-ohjelmalla. Apros:n tuloksia saadaan samalla siis verrattua HEXTRAN:illa laskettuihin tuloksiin.

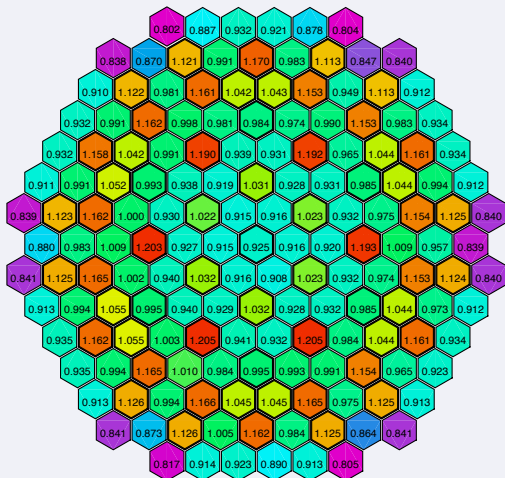
Luotettavia vertailuja varten Apros-ohjelmistolla mallinnetaan koko ydinlaitosta. Tätä varten vanha VTT:llä rakennettu Apros-malli VVER-1000-tyyppisestä ydinlaitoksesta muokattiin vastaamaan Kozlo-

duyn laitosta mahdollisimman tarkasti. Muokkausten jälkeen pääkiertopumpun pysäytystransientti laskettiin nodaalimallilla. Vastaava lasku toteutettiin myös Apros:n vanhalla differenssimallilla, johon nodaalimallin tuloksia verrattiin. Differenssimalli on ollut Apros-ohjelmistossa käytössä jo pitkään ja se on todettu toimivaksi.

Tuloksissa tehdään ensin katsaus ja vertailu tärkeimpiin piiripuolen parametreihin, jotta voidaan olla varmoja, ettei termohydrauliikka aiheuta merkittävää virhettä itse neutroniikkaan takaisinkytkentöjen kautta. Tärkeitä suureita ovat muun muassa primääripuolen lämpötilat sekä paineet. Neutroniikka-analyysi tehdään suureille, joille mitattu data on saatavilla. Lopullisissa neutroniikan vertailuissa tarkastellaan sydämen radiaalisia ja aksiaalisia tehojakaumia sekä nippukohtaisia lämpötiloja.

Tulosten perusteella voidaan todeta Apros:n nodaalimallin toimivan ilman ongelmia. Saadut tulokset vastaavat mitattua dataa mainiosti, joskin paikoittain sydämen tehojakaumissa nähdään merkittäviäkin eroja. Nämä kuitenkin selittynevät raportoidun datan epävarmuudella. Vastaavuus differenssimallilla suoritettuihin laskuihin on hyvä. Myös aikanaan tehdyssä benchmark-tehtävässä eri osallistujat ovat saaneet hyvin samansuuntaisia tuloksia.

Työssä tehtiin myös vertailu HEXTRAN:n sekä Apros:n välillä. Vertailuissa havaittiin verrattain suuria noin 4 % eroja säätävien nippujen tehoissa. Havaitulle suurelle erolle ei löydetty yksikäsitteistä selitystä, ja havaitut erot vaativat vielä tarkasteluja.



Kirjoittaja



DI Joona Leskinen
Tutkija

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
joona.leskinen@vtt.fi

Nodaalimallilla lasketun tehojakauman suhde mitattuun tehojakaumaan.

Suorituskyky ratkaisee

JÄNNITTÄVÄN ydinvoimakevään aallonharja oli virallisesti asetettu kesäkuun loppuun. Ennakkotieto Olki 4:stä luopumisesta tuli kuitenkin jo toukokuussa. Fennovoiman rakentamislupahakemuksen käsittelyn lopputulosta saimme jännittää elokuuhun saakka. Ja kuten moni etukäteen uskoikin, Fennovoiman summavektori osoittaa yhä jyrkästi eteen ja ylös.

Valtakunnan ylimmän poliittisen johdon järkähtämätön tuki hankkeelle on viimeistään nyt tullut selväksi kaikille. Toisaalta ilmassa on aiempaa vahvemmin viitteitä siitä, että yhteiskunnan kokonaisedun vektorikenttään on ilmaantunut useita lisäulottuvuuksia aiempaan verrattuna.

OLEN VIIME AIKOINA laittanut merkille, että useita kokeneita ydinalan asiantuntijoita on siirtynyt töihin joko muille toimialoille tai ulkomaille. Työuran aikana alan vaihtaminen on toki tänä päivänä enemmän sääntö kuin poikkeus. Suomalainen ydinalan koulutus ja erityisosaaminen on yleisesti arvostettua.

Ydinenergialaissaakin mainittu yleisen osaamisen ylläpitämiseen vaaditaan laajaa yhteistyötä. Lainsäädäntö, yliopistot ja tutkimus-

laitokset sekä teollisuus on saatava kaikki sykkimään samaan tahtiin, jotta osaamisen kehittäminen on kestäväällä pohjalla.


Lainsäädännön valmistelussa on muistettava, että yhtiöiden kirstun kolistelussa on pidettävä kohtuus. Tiedemaailman ja teollisuuden vuoropuhelun on oltava riittävän tiivistä ja ymmärrettävää, jotta erilaisten päätöksentekoparaattien läpi selviävät todellakin ne parhaimmat ja kustannustehokkaimmat tavat parantaa turvallisuutta sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä.

Teollisuuden puolella kovina aikoina keskitytään ymmärrettävästi olennaiseen. Organisaatioissa käy kova myllerrys ja myös yhtiökohtainen päätöksenteko järjestyy uudella tavalla. Ydinalan ammattilaisilla on kova tehtävä siinä, että ydinvoiman turvallisuuteen, tuotantoon ja niiden kehittämiseen vaikuttavat syy-yhteydet tehdään riittävän selkeiksi, ymmärrettäviksi ja läpinäkyviksi.

Sympaattisuudessa ydinvoima lähtee aina takamatkalta, mutta uhriksi on turha heittäytyä. Omavaraiseksi rakentunut ydinvoima-ala

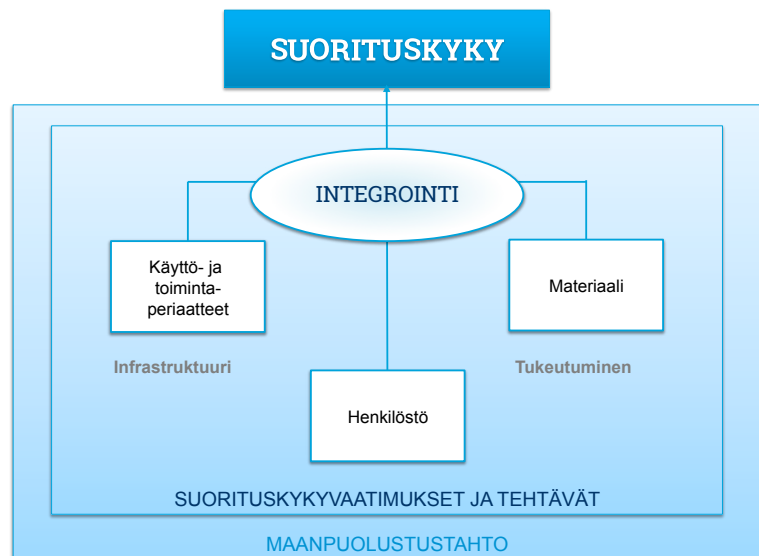
joutuu myös sisäisesti sopeutumaan uusiin toimintatapoihin.

ITSEKIN VAIHDOIN HEINÄKUUSSA alaa ja työpaikkaa Loviisan voimalaitoksesta Maavoimien esikuntaan Mikkeliin. ATS:n ainajäsenmaksun ehdin kuitenkin jo maksaa pari vuotta sitten ja jatkossakin tarkkailen alaa suurella mielenkiinnolla. Yhtäläisyyksiäkin olen tunnistanut.

Maavoimat on viime aikoina toistuvasti ker-tonut, että käytöstä poistuvan kaluston korvaaminen uusilla on tällä hetkellä haastavaa. Uushankinnat kallistuvat jatkuvasti. Leopard 2 A6 -taistelupanssarivaunujen kaltaista hyväkuntoista vähän käytettyä materiaalia ei ole enää markkinoilla kiristyneen turvallisuustilanteen takia. Uskottava suorituskyky muodostuu riittävästä ja osaavasta henkilöstöstä, oikein mitoitettua kalustosta ja materiaalista sekä toimivista käyttö- ja toimintaperiaatteista, joita on jatkuvasti kehitettävä kokonaisuutena. 



DI, FM Anna-Maria Länsimies
Maavoimien tiedotuspäällikkö
anna-maria@lansimies.com



Suorituskyvyn osatekijät, kuten esitetty puolustusvoimien Kenttäohjesäännön yleisessä osassa.

Palautusosoite:

Suomen Atomiteknillinen Seura
PL 78
02151 ESPOO



ATS

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

KANNATUSJÄSENET

Alstom Finland Oy

Platom Oy

**Teknologian
tutkimuskeskus VTT Oy**

B+Tech Oy

**Pohjoismainen
Ydinvakuutuspooli**

Teollisuuden Voima Oyj

Fennovoima Oy

Pohjolan Voima Oy

TVO Nuclear Services Oy

FinNuclear ry

Posiva Oy

Voimaosakeyhtiö SF Oy

**Fortum Power
and Heat Oy**

Saanio & Riekkola Oy

Wärtsilä Finland Oy

**Mirion Technologies
(RADOS) Oy**

Siemens Osakeyhtiö