

ATS

1|2017

Vol. 46

YDINTEKNIikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

Haasteena sanoma

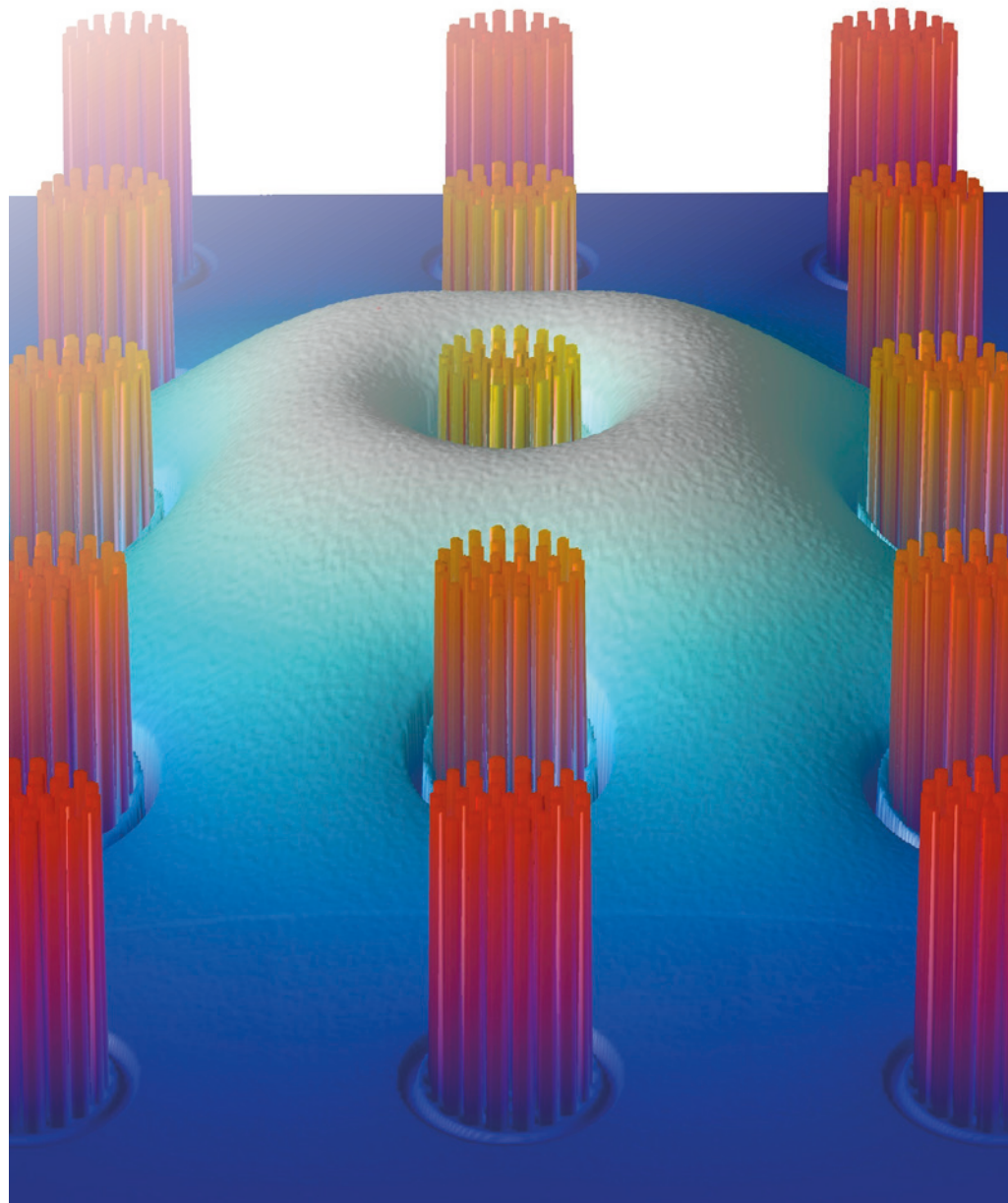
Ydinvoiman tulevaisuutta pohdittiin Energiforskin seminaarissa.

Käytöstäpoiston kustannukset

Säästöjä voidaan saavuttaa minimoimalla purkujätteen pitkät odotukset.

Seismiset riskit

Fennoskandian maanliikkeen arviointiyhtälölle tullaan julkaisemaan uusi korjattu versio.



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

DI Tuomas Rantala
tuomas.rantala@tvo.fi

Sihteeri / Secretary General

FM Antti Rätty
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Lauri Pyy
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

Jäsenet / Board Members

FL Lasse Koskinen
lasse.koskinen@posiva.fi

DI Toivo Kivirinta
toivo.kivirinta@fortum.com

DI Antti Paajanen
antti.paajanen@fennovoima.fi

Toimihenkilöt / Functionaries

ATS Young Generation

DI Mikko Pihlanko
mikko.pihlanko@fortum.com

Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

DI Henri Ormus
henri.ormus@fennovoima.fi

Energiakanava / Energy Channel, WiN Finland

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

Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

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

Toimitussihteeri / Lay-out Editor

Katariina Korhonen
Suunnittelutoimisto Creatus
katariina@creatus.fi

Toimitus / Editorial Staff

DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@welho.com

DI Lauri Rintala
lauri.rintala@fennovoima.fi

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

TkT Risto Vanhanen
risto.vanhanen@tvo.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.

Kiireen syyt ja seuraukset

VIIME AIKOINA työelämää on leimannut kiire. Taloustilanteen käydessä haastavammaksi säästöjä on tyypillisesti tavoiteltu henkilöstöä vähentämällä. Yksittäiselle työntekijälle on tässä vaiheessa saatettu siirtää vastuuta, joita aiemmin kantoi useampi henkilö. Nyt taloudessa on nähtävissä orastavaa positiivista virettä ja kiire saattaa johtua siitä, että meillä menee paremmin ja töitä on taas enemmän.

Itselläni tämä kevät on ollut kiireisempi kuin koskaan. Tämä ei kuitenkaan ole seurausta taloustilanteen muutoksista, vaan isojen projektien päättymisestä ja kokemuksen karttuessa lisääntyvästä vastuusta. Olen havainnut kiireen lisääntyneen myös alan muissa organisaatioissa, sillä moni vuoden ensimmäiseen numeroon suunniteltu juttu siirtyi ajanpuutteen vuoksi seuraavaan. Tämä johtunee käynnissä

olevista isoista hankkeista, joista monet ovat nyt luvanhakuvaiheessa.

Mitkä sitten ovat kiireen seuraukset? Parhaimmillaan kiire on erinomainen motivaattori, joka auttaa saamaan asiat valmiiksi tehokkaasti, kun turha tekeminen karsiutuu pois. Kiire ei kuitenkaan saa muotoutua normaali-tilaksi. Pitkään jatkuessaan se tekee meistä huolimattomia ja haluttomia. Tämä ei ole hyväksi etenkin alalla, jossa turvallisuus nostetaan korkeimmaksi arvoksi.

Kiire saattaa johtaa myös näköalattomuuteen. Jos keskitymme alinomaan vain selviytymään käsillä olevasta tehtävästä, kuinka huolehdimme siitä, että todella suuntaamme kohti pitkän ajan tavoitettamme tai siitä, että se ylipäätään on olemassa?

Energian tuotanto on yhteinen asia, joka vaatii pitkän tähtäimen suunnitelmia ja visioi-



ta sekä sitoutumista. Lisäksi tarvitaan aikaa suunnitelmien toteutukselle laadukkaasti. Aika ajoon on myös pysähdyttävä arvioimaan, ovatko tavoitteemme oikeita ja resurssimme niiden saavuttamiseksi realistisia. On hyvinkin mahdollista, että kiire on heikentänyt niiden laatua.

Anna Nieminen

Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Kiireen syyt ja seuraukset.....	3
Pääkirjoitus: Erilaisten roolien tiedostamisesta?.....	4
Editorial: Different roles in the discussions on electricity.....	5
Pakina: Energiapolitiikan savusumua – meillä ja maailmalla.....	26

Tapahtumat

Ydinvoiman tulevaisuuden haasteet – Energiforskin vuosiseminaari.....	6
Vuosikokouksen satoa.....	8
Ajankohtaista	
Forsage 2016 – nuorten ydinvoimaosajien foorumi Venäjällä.....	10
Käytöstäpoistosta ja kustannuksista.....	12
Muistoissa Jorma K. Miettinen.....	15

Tiede ja tekniikka

Decreasing uncertainty in seismic hazard estimates in Fennoscandia by use of seismic source modeling.....	16
<i>Vilho Jussila, Billy Fälth, Björn Lund, Jouni Saari, Peter Voss, Jari Puttonen, Ludovic Fülöp</i>	
Doctoral dissertation: Monte Carlo methodologies for neutron streaming in diffusion calculations.....	23
<i>Eric Dorval</i>	

Erilaisten roolien tiedostamisesta

VUOSI 2017 on käynnistynyt ja ehtinyt jo melkein ensimmäisen kvartaalin loppuun tätä kirjoittaessani. Talven tuloa on odotettu ainakin pääkaupunkiseudulle, mutta nyt tämä odotus on jo vaihtunut kevään merkkien tarkkailuun ja muutamista aurinkoisista päivistä nauttimiseen. Poikkeuksellista vai ei, ilmeisesti saamme tottua sään puolesta poikkeuksiin ja ääri-ilmiöihin ehkä vielä nopeammin kuin ennusteet ovat luvanneet.

Omalta osaltani olen lukenut entistä herkemällä silmällä energia-alan kehitystä koskevia uutisia, ennusteita ja artikkeleita. Kaikki tekijät tuntuvat olevan muutoksen alla: tuotanto, kulutus ja sähkön siirto. Ennustaminen on tullut harvinaisen epävarmaksi, ja tätäkin koskee ennuste epävarmuuden kasvusta. Omassa elämässäni opettelen samalla uutta työtä ministeriössä. Vaikka muutos aina vaatii työtä ja siihen menee aikaa ja energiaa, on muutoksella tapana myös avata uusia mahdollisuuksia ja näkökulmia, joista sitten syntyy uutta energiaa tai nykykielellä ilmaistuna pöhinää.

Muutos voimayhtiöstä ja tutkimusmaailmasta ministeriöön ja ydinenergia-alan ohjaukseen on avannut silmiä monella tapaa. Faktapohjainen ja insinööritieteisiin pohjautuva argumentointi, joka tutkimusmaailmassa on kovaa valuuttaa, ei enää ministeriön päätöksentekoprosessissa ole yksin riittävää. On opittava ymmärtämään asioita eri intressien ja eri roolien näkökulmista ja löydettävä näille keskustelemalla kulloinkin toimiva logiikka. Ihmisten kanssa kommunikoinnin tärkeys korostuu entisestään, kaikkien kiireiden keskellä tämä näyttää olevan asia josta ei voi tinkiä.

Työpöydän ääressä mietin pitääkö poikkeuksiin ja ääri-ilmiöihin tottuminen paikkansa myös sähköntuotannon alalla: kulutuksen laskua on ennustettu ja selitetty matalasuh-

danteilla ja toisaalta teknologian kehittyemisellä ja vielä meidän kuluttajienkin tietoisuuden parantamisella. Toisaalta sähkömarkkinoille on tullut uusia ja uudenlaisia tuotantoyksiköitä nopeaan tahtiin, samalla kun vanhoja laitoksia on poistumassa ehkä vielä nopeammin. Tuotantomäärissä poistuminen on merkittävää. Kaikkien sähköntuotannossa toimivien olisi nyt mietittävä miten tuleme jatkossa varmistamaan sähkönsaannin ja sähköverkon toimivuuden: ajatukset uudesta hajautetusta tuotannosta ja uusiutuvas- ta energiasta ovat arvokkaita rakennettaessa tulevaisuutta, mutta kovaa faktaa kaivattaisiin keskusteluun siitä mikä on teknologian kannalta mahdollinen muutosvaihtu. Teknologia on kuitenkin se väline jolla muutos toteutetaan, vaikka päätökset olisivatkin poliittisia.

Omalta työpöydälläni on myös ruuhkaa. Osittain se johtuu uusien asioiden haltuunotosta, mutta myös ihan siitä, että Suomessa tapahtuu erittäin paljon isoja asioita ydinenergian tuotannossa. Isojen laitosten asiat kuitenkin liikkuvat huomattavasti muita energia-alan muutoksia hitaammin, niiden rakentaminen ja käyttö eivät taivu nopeisiin käännteisiin helposti. Yksi syy on tietysti turvallisuusmääräysten täyttäminen ja lupien vaatimat pitkätköt prosessit. Toisaalta yksittäisetkin kysymykset edellyttävät laaja-alaista ja monitieteellistä osaamista, mikä tarkoittaa yhteistyötä ja kokonaiskuvan ymmärtämistä joka taas vie aikaa toteutuksessa. Millään muulla alalla tällaista kokonaisuuteen uppoutumista ei edellytetä määräjain.

Kun laitosten turvallisuutta arvioidaan lupahakemuksen pohjalta, on sovellettava sekä EU:n direktiivejä että ydinenergialakia ja muita säädöksiä. Ydinturvallisuudirektiivi tulee



ottaa huomioon kansallisessa lainsäädännössä ensi elokuuhun mennessä. Meillä on lakimuutosten lausuntokierros käynnissä ja kommenttien huomioonottaminen tulee olemaan kiireistä työtä, kun haluamme saada EU-ehdot täytettyä ja lain esittelyn hallitukselle ennen kesälomaa. Uusien laitosten osalta vaatimusten täyttymisen arviointi on suoraviivaista, ne on täytettävä. Vanhojen laitosten osalta, joille haetaan suunniteltua elinikää pidempää käyttöaikaa, kysymys on vaikeampi, mutta vahvasti insinööritieteillä perusteltava. Olisi täytettävä vaatimukset niin hyvin kuin ne ovat ”practicable achievable”. Miten tämä arvioidaan, on ratkaistava tänä vuonna kahden voimalaitosyksikön osalta. Perustelut ovat laskelmia ja mallien avulla tuotettuja arvioita, joiden perusteella on määritettävä, milloin turvallinen on riittävän turvallista ja saavutettavissa vanhassa laitoksessa. Tämä arviointityö taas vaatii hyvää vuoropuhelua kaikkien toimijoiden ja asiantuntijoiden välillä. Avainasemassa ovat keskustelu ja kuuntelu sekä kunkin toimijan roolin mukaisten näkökantojen tuominen keskusteluun.

TKT Liisa Heikinheimo

Teollisuusneuvos
TEM, Ydinenergia ja polttoaineet

Different roles in the discussions on electricity

YEAR 2017 has progressed already to the end of its first quarter when I am writing this. The arrival of winter was eagerly expected to the capital area, but now this has changed to observing the marks of spring and enjoying the few sunny days we have had. Exceptional or not, it seems that we have to get used to rare and extreme weather conditions probably more often than have been forecasted.

Today in the news, predictions and articles related to advances in energy industry everything seems to be changing: production, consumption and electricity transfer. Predictions are becoming more and more uncertain, being just one more indication of increasing uncertainties. At the same time, while following these news, I am learning my new work at the ministry. Despite a change requires always work, time and energy, it also opens new possibilities and viewpoints resulting new energy or buzz as they nowadays say.

The change from a power company and research to the ministry and control of nuclear energy has opened my eyes in many ways. Argumentation that is based on facts and engineering being considered as hard currency in the scientific world, is not sufficient alone in the decision processes of the ministry. Matters have to be understood from the viewpoints of different interest and different roles, and between them a functioning logic has to be found by discussion. The importance of communication cannot be neglected.

It is clear that we have to get used to exceptions and extreme conditions also in the area of electricity production. The predicted decrease in energy consumption is explained by depressions, technology progress and by increase in consciousness of the consumers. On the other hand, new and nov-

el energy producing units have become to the market rather quickly at the same time when old units have been shut down even faster. When considering the electricity output, the reduction seems to be faster than the increase. Everyone, whose work is related to electricity production, should consider how we make sure that there is enough electricity available and that the network works properly. Distributed and renewable electricity production are both very important factors when building the future, but facts are needed when discussing about the possible rate of change for technology. In the end, technology is the instrument to execute the change even though the decisions are political.

I feel some pressure due to the rush on my desk, which is partly because new issues have to take into possession, but also because in Finland there are big matters going on in the frame of producing nuclear energy. Yet, the matters related to large plants proceed relatively slow compared to the changes in the energy industry today. When constructing and using the large plants, quick changes are extremely difficult. One reason is of course the requirement in fulfilling the safety regulations and long processes in licence applications. On the other hand, single questions require wide-ranging and multidisciplinary knowhow, that is achieved only by collaboration and understanding the big picture. This requires time. There is no other industry area, in which this sort of absorption in completeness is required at regular intervals.

When the safety of plants is evaluated based on the licence application, both EU directives and nuclear energy act as well as other regulations are applied. Nuclear safety directive has to be taken into account in national legislation by next September. The revi-

sion of law, the nuclear energy act, is currently commented. Taking into account the received feedback will be hectic when we want to fulfil the EU conditions and be able to introduce the new law to the government before summer holidays. Evaluating the fulfilment of the requirements is straightforward what comes to new plants: the requirements have to be fulfilled. This is trickier when considering old units that apply lifetime extension for their operating units. However, also in this case the fulfilment can be justified based on engineering. One has to fulfil the requirements as well as they are practicable achievable. How this is evaluated, has to be solved this year for two units. In the end, the justifications are calculations and evaluations based on models. Based on these, it has to be defined when safe is safe enough and achievable in an old unit. This evaluation requires once again good dialogue between all actors and experts. Every stakeholder has a role to bring all its aspects into the discussions.

Dr. Liisa Heikinheimo
Deputy Director General
The Ministry of Economic Affairs and
Employment

Ydinvoiman tulevaisuuden haasteet

– Energiforskin vuosiseminaari

Energiforsk piti vuosittaisen ydinvoimaseminaarinsa 25. tammikuuta Tukholmassa aiheella Ydinvoiman teknologia- ja politiikkakehitys – globaali perspektiivi. Kaksiosaisen tilaisuuden ensimmäinen puoli keskittyi politiikkaan ja jälkimmäinen teknologiaan.

Teksti: Ville Tulkki



TKT Ville Tulkki
Senior Scientist
VTT Technical Research Centre
of Finland Ltd
ville.tulkki@vtt.fi

YDINVOIMAN GLOBAALISTA ASEMASTA alusti Agneta Rising World Nuclear Associationista. WNA pyrkii tällä hetkellä kehittämään viestiään ydinvoiman suhteen, sekä kertoakseen paremmin ydinvoiman hyödyistä että vastataksen julkisuudessa kiertäviin ydinvoimavastaisiin teksteihin. Rising painotti ydinvoiman olevan sekä ympäristöstävällistä että taloudellisesti kilpailukykyistä. Hänen mukaansa ydinvoimateollisuus on käyttänyt pitkään väärää viestiä julkisuuskuvansa muokkaamisessa. Siinä missä turvallisuus on tärkeää sisäisessä kommunikaatiossa, sen painottaminen julkisessa viestinnässä antaa kuvan, että alalla olisi jotain piilotettavaa. Turvallisuusnäkökohtien sijaan ydinvoimasta viestittäessä tulisi keskittyä sen etuihin, kuten luotettavaan sähköntuotantoon ilman hiilidioksidipäästöjä.

Kiinan kamppailua energiäköhyhden ja paikallisten ilmansaasteiden vähentämiseksi kuva Micael Hagman Ruotsin Pekingin lähetystöstä. Kiinan hallinto on viime vuosina alkanut tunnustaa hiilidioksidipäästöjen hillitsemisen tärkeyden suuressa mittakaavassa. Paikallisten saasteiden vähentäminen on kuitenkin tällä hetkellä suurin ajuri kiinalaiseen energiamurrokseen, joka koostuu sekä vähäpäästöisen energiantuotantokapasiteetin rakentamisesta että sähköntuotannon siirtämisestä länteen pois tiheästi asutuilta alueilta.

Hiili tulee vielä pitkään olemaan Kiinan ensisijainen energianlähde ja varsinkin paikallinen CHP-tuotanto pohjaa sen käyttöön. Kaupungit lämmitetään CHP-laitoksilla, jonka takia ne ovat ajojärjestyksessä aina ensimmäisenä syrjäyttäen niin ydin- kuin tuulivoimaloitakin. Ydinvoiman osalta Kiinassa on nyt 37 reaktoria käynnissä ja 20

Berta Picamal kertoo Foratomin näkemyksistä komission PINC-ohjelmaehdotukseen (kuva: Monika Adsten, Energiforsk).

rakenteilla sekä noin 40 uutta laitospaikkaa tarkastelun alla. Hagmanin mukaan vientiin kehitettävä Hualong One on yksi kansallisista avainprojekteista, mikä tarkoittaa Kiinan panostavan sen onnistumiseen niin paljon kuin tarvitaan.

EU:n ajankohtaisista ydinenergiaan liittyvistä asioista puhui Foratomin Berta Picamal.

Hänen mukaansa vastikään julkaistu uusi ydinvoiman kehittämistä ajava PINC-ohjelma ei täytä tehtäväänsä vaan jää hyvin vajaaksi. Foratomin tulkinnan mukaan ohjelmassa tulisi tunnustaa ydinvoiman rooli vähäpäästöisenä energianlähteenä, siirtyä kohti tasaista markkinakenttää ja viranomaisvaatimusten harmonisointia sekä panostaa innovaatioiden rahoitukseen. Foratom pyrkii edustamaan ydinvoima-alan toimijoita Brysselin suuntaan, mutta Picamal kertoi tämän olevan jatkuvasti yhä haastavampaa, varsinkin kun Foratomin jäsenyritykset eivät itse viesti aktiivisesti ydinvoiman puolesta. Tätä käytetään Brysselissä myös Foratomin arvovalan heikentämiseen. Picamalin viesti olikin, että ydinvoima-alan toimijoiden on turha toivoa jonkun muun edistävän alan etuja Euroopassa – se on meidän kaikkien tehtävä.

Sveitsissä järjestettiin kansanäänestys nopeutetusta ydinvoimasta luopumisesta loppuvuodesta 2016. Energy for Humanityn Wolfgang Denk kuvasi Sveitsin yleistä tilannetta sekä EfH:n kampanjaa ydinvoiman säilyttämisen puolesta. Kansanäänestystä edeltänyt yleinen kampanjointi oli Denkin mukaan hyvin yksipuolista, sillä sveitsiläiset ydinvoimatoimijat olivat hyvin passiivisia ottamaan mitään kantaa. Kampanjaa käytiinkin pääosin niiden välillä, jotka halusivat luopua ydinvoimasta heti, ja niiden, jotka halusivat luopua ydinvoimasta mutta eivät juuri nyt.

EfH:n ruohonjuurikampanja pyrki mainostamaan nimenomaan ydinvoiman luotettavuutta ja puhtautta, mitä WNA:kin tällä hetkellä korostaa. Turvallisuus- ja jätekeskymykset olivat asioita, joihin oli vastaus valmiina, mutta ne tarkoituksella eivät olleet aktiivisen kampanjaviestinnän osana. Esitys nopeasta ydinvoimasta luopumisesta hylättiin kansanäänestyksessä, mutta tänä keväänä Sveitsissä äänestetään uudesta energiastrategiasta, jossa ydinvoimalla ei ole osuutta. Denk oletti strategian hyväksyttävän, ellei ihmeitä tapahdu.

Iso-Britannian SMR-strategian (Small Modular Reactors) valmistelussa National Nuclear Laboratoryn tarjoamaa tukea kuvasi Fiona Rayment. Briteillä on sitova tavoite alentaa hiilidioksidipäästöjä 80 % vuoteen 2050 mennessä ja tätä varten yhteiskuntaa täytyy sähköistää mahdollisimman paljon. Tämä vaatisi myös verkon kokonaiskapasiteetin noston nykyisestä 85 GW arvoon 300 GW. Brittien ydinvoimarakentamisen ensimmäinen aalto koostuu joukosta suuria laitoksia ja jo tässä vaiheessa verkon vahvistaminen aiheuttaa suuria kustannuksia.

Pienet modulaariset laitokset nähdään keino lisätä tuotantokapasiteettia ilman suuria vaatimuksia verkon kehittämiselle, ja ne ovatkin Raymentin mukaan potentiaalinen toinen ydinvoimarakentamisen aalto. Iso-Britannia on kiinnostunut paitsi sähköntuotannosta, myös oman teollisuuden ja teknologian kehittämisestä. Siksi se aktiivisesti etsii reaktorikonsepteja, jotka ovat riittävän kehittyneitä päästäkseen markkinoille kohtuullisessa ajassa, mutta joita ei ole vielä viimeistely.

Tarvetta neljännen sukupolven reaktoreiden kehitykselle ja käyttöön luotettavan ja puhtaan energiansaannin takaamiseksi erityisesti tulevaisuudessa perusteli Westinghouse Electric Swedenin Anders Adrén. IEA:n kahden asteen skenaarioissa vuosille 2015–2040 esitetään kasvava tarve ydinvoimalle, josta 366 GW tulisi olla uutta voimalakantaa yksistään kyseisellä aikavälillä. Adrénin mukaan voi hyvin käydä niin, että uraanivarojen rajat alkavat näkyä polttoaineen hinnassa jo 2030-luvulla, jolloin polttoainekierron sulkeminen ja uuden polttoaineen hyötämisen alkavat olla perusteltuja.

Westinghouse onkin päätenyt valitsemaan kehityskohteekseen lyijyjäähdytteisen reaktoriteknologian sen skaalautuvuuden, turvallisuusominaisuuksien sekä taloudellisuuden vuoksi. Tässä vaiheessa Adrén viittasi aiempiin puhuihin ja pohti, että ehkä turvallisuutta ei tarvitsisi tässäkin kohtaa tuoda niin voimakkaasti esiin. Lyijyjäähdytteisten reaktoreiden materiaalit, varsinkin korkeilla lämpötiloilla joihin Westinghouse tähtää, vaativat vielä kehittämistä. Adrén kuitenkin puhui luottavasti ruotsalaisesta osaamisesta sekä yliopistoverkoston että valmistavan teollisuuden suhteen sekä petasi ajatusta Ruotsista lyijyjäähdytteisten reaktoreiden osaamiskeskuksena.

Seminaarin suurimman uutisen kertoi kuitenkin Janne Wallenius, joka oli hiljattain siirtynyt KTH:n professorin virasta täysipäiväiseksi startup-yrittäjäksi. Walleniuksen yritys LeadCold kehittää pienen koon lyijyjäähdytteistä ydin-



SEALER (Swedish Advanced Lead Reactor) on lyijyjäähdytteinen ydinpatteri (kuva: LeadCold).

patteria arktisten syrjäseutujen käyttöön. Tämä SEALER-konsepti kykenisi tuottamaan yhdellä polttoainelatauksella joko 3 MWe kolmenkymmenen vuoden ajan asutuskeskusten käyttöön tai 10 MWe kymmenen vuoden ajan arktisiin kaivossovelluksiin.

SEALER on tällä hetkellä ensimmäisen vaiheen esilisensoinnissa Kanadan viranomaisilla. Tarkoituksena on saada lisenssi vuoteen 2021 mennessä, jolloin voitaisiin aloittaa demolaitoksen rakentaminen. Wallenius kertoi saaneensa juuri edellisellä viikolla intialaiselta monialayritykseltä Essel Groupilta sopimuksen 200 miljoonan dollarin rahoituksesta reaktorinsa lisensointiin ja demonstrointiin. Tämä, sekä mahdollinen jatkorahoitus, mahdollistaisi SEALERin kaupallistamisen 2020-luvun puolessavälissä.

Yhtäällä Ruotsissa ydinvoimalaitoksia suljetaan eikä uusia olla näillä näkymin lähitulevaisuudessa rakentamassa. Toisaalta konferenssista välittyi vahva usko ydinvoiman tulevaisuuteen ja sen mahdollisuuksiin vastata ihmiskunnan suuriin haasteisiin, sekä ruotsalaisen teollisuuden ja yhteiskunnan kykyyn olla tämän tulevaisuuden ajurina. Haasteet kuitenkin tunnustettiin laajasti, kuten myös se, että ydinvoima-alalta vaaditaan jatkossa muutakin kuin vain keskittyminen omaan tekemiseen. 🌀

Esitykset ovat ladattavissa osoitteesta www.energiforsk.se/program/omvarldsbevakning-karnkraft/konferenser/documentation-energiforsk-annual-conference.

Vuosikokouksen satoa

Suomen Atomiteknillisen Seuran vuosikokous järjestettiin Tieteiden talolla maaliskuun 6. päivänä. Vuosikokoukseen otti osaa 41 seuran jäsentä. Tilaisuudessa myös kuultiin esitykset uusista ydinvoima-alan yhtiöistä, jotka markkinoivat suomalaista osaamista ulkomaille.

Teksti: Henri Loukusa ja Anna Nieminen **Kuva:** Kai Salminen

SÄÄNTÖMÄÄRÄISINÄ ASIOINA käsiteltiin muun muassa toimintakertomuksen ja tilinpäätöksen vahvistaminen sekä toimintasuunnitelma ensi vuodelle. 50-vuotisjuhluvuosi 2016 oli aktiivinen toimintavuosi. Vuoteen mahtui neljä jäsentilaisuutta, ja juhluvuosi huipentui erittäin onnistuneeseen Suomalaisen Ydintekniikan Päivät -konferenssiin. Uudelle toimintavuodelle tavoitellaan paljon korkealaatuista toimintaa ja jäsenmäärän kasvua. Ensimmäinen vuoden neljästä suunnitellusta jäsentilaisuudesta järjestettiin jo huhtikuun alussa, ja syksyllä on luvassa perinteinen syysseminaari.

Edellisvuoden johtokunta jatkoi lähes entisellään. Kolmannelle kaudelleen valittiin puheenjohtaja Kai Salminen, varapuheenjohtaja Tuomas Rantala, rahastonhoitaja Lauri Pyy ja johtokunnan jäsen Lasse Koskinen. Toiselle kaudelleen valittiin johtokunnan jäsenet Antti Paajanen ja Toivo Kivirinta. Sihteeri Henri Loukusa oli ilmoittanut, ettei ole enää käytettävissä

sä johtokuntaan. Hänen tilalleen valittiin Antti Rätty VTT:ltä.

Esittelyssä uudet yhtiöt

Sääntömääräisten asioiden käsittelyn jälkeen kuultiin mielenkiintoiset esitykset uusista ydinvoima-alan yhtiöistä Suomessa. Posiva Solutionsista kertoi Managing Director Mika Pohjonen, ja STUK Internationalista hallituksen puheenjohtaja Ilona Lindholm.

Posiva Solutions Oy perustettiin alle vuosi sitten kesäkuussa 2016 tarjoamaan räätälöityjä palveluja ydinjätteen loppusijoitukseen liittyen. Posivan kokemusta hyödyntämällä asiakkaan projektissa on mahdollista säästää sekä aikaa että rahaa. Adaptoimalla suoraan Posivan loppusijoituskonsepti saavutetaan vain taloudellista hyötyä, mutta projektia optimoimalla on mahdollisuus myös lyhentää sen kestoa.

Yhtiön liiketoiminta on lähtenyt hyvin liikkeelle ja sen asiakkaisiin kuuluu tällä hetkellä tšekkiläinen SÚRAO (radioaktiivisen jätteen loppusijoituspaikkaa valvova viranomainen), BRIUG (Beijing Research Institute of Uranium Geology) ja CNPE (China Nuclear Power Engineering Company) Kiinasta, NUMO (Nuclear Waste Management Organization of Japan) ja RWMC (Radioactive Waste Management Funding and Research Center) Japanista, korealaiset KORAD (Korea Radioactive Waste Agency) ja KNP (Korea Nuclear Partners), Kanadan NWMO (Nuclear Waste Management Organization) ja naapurimaamme SKB International (Svensk Kärnbränslehantering Aktiebolag) sekä Fennovoima.

STUK International Oy on vielä Posiva Solutionsiakin tuoreempi yhtiö, sillä se perustettiin joulukuussa 2016. Yhtiö myy säteily- ja ydinturvallisuuteen liittyvää osaamista muiden maiden viranomaisille. Erillinen yhtiö mahdollistaa STUKin asiantuntijapalveluiden markkinaperusteisen hinnoittelun, joustavamman palveluiden räätälöinnin ja nopeuttaa projektien käynnistämistä sekä selkeyttää STUKin roolia viranomaisena.

Yhtiön pääresurssina ovat STUKin asiantuntijat sekä toissijaisesti viranomaisyhteyksiin perehtyneet konsultit. Yhtiön vakituisen henkilöstön määrä rajoittuu kuitenkin yhtiön hallintoon sekä myynnin ja markkinoinnin henkilöstöön. Vaikka itse työn toteutuksessa käytetään yhtiön ulkopuolisia resursseja, sopijaosapuolena on aina STUK international Oy, joka viimekädessä vastaa projektien aikataulusta, tuloksista, raportoinnista ja laadusta.

Erkki Laurila -palkinto Jaakko Leppäselle

Vuosikokouksessa jaettiin perinteiseen tapaan myös Erkki Laurila -palkinto viime vuoden parhaasta artikkelista ATS Ydintekniikka -lehdessä. Palkinto myönnettiin Jaakko Leppäselle artikkelista ”Serpent Monte Carlo -reaktorifysiikkakoodin kehitys”, joka julkaistiin numerossa 3/2016. Johtokunta vahvisti toimituksen valinnan kokouksessaan 2/2017 ja päätti palkintosummaksi yhteensä 500 euroa. Voittanutta artikkelia kuvattiin muun muassa seuraavasti: ”Monivuotisen ja kansainvälisesti merkittävän ja laaja-alaisen tutkimusaihepiirin tasapainoinen ja visuaalisesti selkeä ja lukijajaystävällinen esitys. Siitä ilmenee myös tutkimusaihepiirissä tapahtunut historiakehitys.”



DI Henri Loukusa
Research Scientist
VTT Technical Research Centre
of Finland Ltd
henri.loukusa@vtt.fi



DI Anna Nieminen
Vastaava päätoimittaja
ATS Ydintekniikka
anna.nieminen@vtt.fi



ATS Ydintekniikan vastaava päätoimittaja Anna Nieminen luovutti kunniakirjan Erkki Laurila -palkinnon saaneelle Jaakko Leppäselle. Seura on jakanut Erkki Laurila -palkintoa vuodesta 2000 lähtien.



Antti Rätty

Seuran johtokunnan uusi sihteeri Antti Rätty on työskennellyt VTT:llä tutkijana reaktorifysiikan tiimissä vuodesta 2009. Hän on valmistunut filosofian maisteriksi teoreettisesta fysiikasta Helsingin yliopistosta. Hän on erikoistunut inventaarilaskentaan ja aktiivisten materiaalien karakterisointiin, mutta kokemusta VTT:llä on myös neutroniikkalaskennasta sekä deterministisillä että Monte Carlo -menetelmillä.

Nykyiset työtehtävät liittyvät erityisesti FiR1-tutkimusreaktorin käytöstäpoiston jätekarakterisointiin ja käytöstäpoiston luvitusprosesseihin.

Antti ei ole aikaisemmin toiminut ATS:n viroissa, mutta on osallistunut aktiivisesti jäsentilaisuuksiin usean vuoden ajan ja pitää tärkeänä ATS:n tarjoamaa laajaa näkökulmaa alan kehityksestä myös oman erikoistumisalueensa ulkopuolelta.

Forsage

– nuorten ydinvoimaosaajien foorumi Venäjällä

Rosatomin ja Venäjän yritysten kansainvälisen koulutusyhdistyksen (MAKO) järjestämä viikon mittainen foorumi kerää vuosittain yhteen lähes 700 ydinvoima- ja energia-alalla työskentelevää nuorta ammattilaista. Tapahtuma on järjestetty vuodesta 2011 lähtien ja viime kesänä tapahtuma laajeni kansainväliseksi, kun järjestäjät kutsuivat osallistujia myös Venäjän ulkopuolelta. Kansainväliseen New Generation -ohjelmaan osallistui 21 ulkomaalaista energia-alan osaajaa ympäri maailmaa.

Teksti ja kuvat: Kaisu Leino

KANSAINVÄLINEN GLOBAL COOPERATION -ryhmä koottiin kutsumalla nuoria 25–35-vuotiaita energia-alan insinöörejä, tutkijoita ja toimittajia maista joissa Rosatomilla on liiketoimintaa. Hakemusten perusteella ryhmään valittiin 21 osallistujaa 11 eri maasta. Foorumi oli kansainväliseen ohjelmaan valituille osallistujille maksuton ja kutsuja vastasi myös matkustuskuluista.



DI Kaisu Leino
Turvallisuusinsinööri
Loviisan voimalaitos
kaisu.leino@fortum.com

Konferenssi telttakylässä Obninskissa

Forsage Forum on kuin aikuisten kesäleiri, jonka ohjelma on suunniteltu nuoria asiantuntijoita kiinnostavaksi. Osallistujat jaettiin 32 joukkueeseen, jotka suorittivat erilaisia tehtäviä viikon aikana. Kansainvälisen ryhmän, joka muodosti Global Cooperation -joukkueen, ohjelma poikkesi jonkin verran venäläisten joukkueiden ohjelmasta. Global Cooperationin ohjelmaan oli mahduttettu ekskursiot sekä Kalugaan että maailman ensimmäiseen ydinvoimalaitokseen Obninskissa. Venäjää taitamattomien ryhmälle järjestettiin myös venäjän kielen ja kulttuurin opetusta.

Joukkueiden tehtävänä oli työstää kahden projektia leirin muun ohjelman lomassa. Joukkueiden rakennustaitoja ja kekseliäisyyttä testattiin Chain reaction eli dominoefekti-tehtävässä, jossa joukkueiden oli rakennettava mahdollisimman näyttävä ja moniosainen tapahtumien sarja annetuista materiaaleista. Akateemistä osaamista vaativassa osuudessa joukkueiden oli keksittävä idea tai ratkaisu energia-alaan liittyvään ongelmaan ja suunniteltava sen toteutus. Foorumin aikana ideaa kehitettiin eteenpäin luennoilta saatuun oppien perusteella. Muutaman päivän jälkeen joukkueet esittelivät ajatuksensa eri



Global Cooperationin idea kansainvälisestä yhteistyöfoorumista palkittiin. Yhteistyöfoorumin tavoitteena on ratkaista hyvin erilaisten osanottajamaidensa energiantuotantoon liittyviä haasteita jakamalla tietoa yli maa- ja organisaatorajojen.



Global Cooperationin jäsenet edustivat 11 eri maata. Viikon ajan jäsenet kehittivät ideaansa kansainvälisestä energiayhteistyöstä (kuva: Forsage).

alojen spesialisteille ja yrittivät saada nämä alojensa huiput tukemaan projektiaan. Mikäli joukkueen idea oli riittävän kiinnostava, saivat specialistit ryhtyä joukkueen "bisneskeleiksi" ja antaa vinkejä idean jalostamiseksi.

Foorumin viidentenä päivänä ilmassa oli karnevaalin tunnelmaa, kun oli aika esitellä kaikkien joukkueiden Chain reaction -tehtävän lopputulokset. Kilpailussa nähtiin todella hienoja rakennelmia ja kekseliäitä ratkaisuja. Voittaja ratkaistiin koululaisraadin antamien viihdyttä-



Chain reactionin eli dominoefektin rakentamiskilpailuun osallistuivat kaikki foorumin 32 joukkuetta.



Global Cooperation valmistelee esitystä ja tarkistaa viimeisiä faktoja myydäkseen ideansa foorumin asiantuntijaraadille.


man ensimmäinen sähköverkkoon kytketty ydinvoimalaitos. APS-1 Obninsk tuotti sähköä vuosina 1954–1959, jonka jälkeen se oli vuoteen 2002 saakka tutkimuskäytössä. APS-1 oli sähköteholtaan varsin vaatimaton 5 MW:n nettoteholtaan, mutta se toimi myöhemmin rakennettujen grafiittihidasteisten ja vesijäähdytteisten RBMK-tyyppisten reaktorien prototyyppinä.

Yhteistyö jatkuu foorumin jälkeenkin

Vaikka Global Cooperation -ryhmän piti koostua kansainvälisestä energia-alan eliitistä, ei huomattavaa menestystä Forsage Forumin kilpailuissa kuitenkaan tullut. Mainittakoon, että dominoefektikilpailuissa sijoituimme sijalle 32 useiden sääntörikkeiden ja kielimuurin vuoksi. Sääntöjen noudattaminen olisi voinut sujua meiltä paremmin, jos kaikki säännöt olisi muistettu kääntää myös englanninkielisiin ohjeisiin. Dominoefektirakennelman tekeminen itsessään ei ollut tehtävän perimmäinen tavoite, vaan tarkoituksena oli opettaa foorumilaisia työskentelemään suuressa ja idearikkaassa ryhmässä.

Akateemisessa työssä menestyimme hieman paremmin ja ideaamme kansainvälisestä tiedonvaihdosta pidettiin toteutuskelpoisena, niinpä Global Cooperation palkittiin ekskursion ohjelmistojätti SAP:n ajatushautomoon Silicon Valleyhin. Global Cooperation on heinäkuusta lähtien kehittänyt ideaansa, ja työtä jatketaan kirjoittamalla artikkelia otsikolla: "Integrated Energy and Resource Planning for Our Specific Countries to Promote Global Cooperation".

Tartu mahdollisuuteen ja hae Forsage 2017 -foorumille

Forsage Forumin järjestäjät lähestyvät kutusikirjeillä suomalaisia ydinenergia-alan organisaatioita tänäkin vuonna. Hae rohkeasti mukaan ja koe elämyksellinen viikko Keski-Venäjän kesässä. 



Forsage Forum järjestetään Kalugan maakunnassa 100 km Moskovasta lounaaseen. Foorum pidetään kokonaisuudessaan ulkona ja majoitus on kahden hengen teltoissa (kuva: Forsage).

vyyteen perustuvien pisteiden sekä foorumin johdon antamien pisteiden perusteella.

Viimeisenä päivänä foorumi huipentui, kun joukkueet esittelivät ratkaisunsa valitsemaansa energia-aiheiseen ongelmaan ja suunnitelmansa ratkaisun toteuttamiseksi. Asiantuntijaraati koostui vaikutusvaltaisista henkilöistä, sillä tavoitteena oli kehittää oikeasti hyviä ja toimivia ratkaisuja, jotka voivat

tuottaa lisäarvoa ideoihin mukaan lähteville organisaatioille.

Obninskin ydinvoimalaitos

Asiantuntijaraadin vetäytyttyä miettimään tehtävien pisteytystä ja kilpailun voittajaa kansainvälinen ryhmä pääsi vierailemaan Obninskin ydinvoimalaitoksella, joka on maail-

Käytöstäpoistosta ja kustannuksista

IAEA:n vuoden 2013 arvion mukaan noin 150 ydinvoimalaitosyksikköä oli lopettanut sähkön tuotannon ja yli 50 näistä oli jo purettu. Reaktoriyksikköä kohden käytöstäpoiston ja siihen liittyvien välivarasto- ja loppusijoituslaitosten kustannukset saattavat nousta jopa miljardiin euroon. Erityisen kalliita ovat olleet Euroopan jälleenrakennus- ja kehityspankin (EBRD) rahoittamat Ignalinan, Kozloduyn ja Bohunizen laitosten käytöstäpoistohankkeet. Samaan aikaan Suomessa uskotaan selvittävän käytöstäpoistosta muita maita alhaisemmin kustannuksin. Seuraavassa on käsitelty tekijöitä, joilla on vaikutusta kustannusarvioiden eroihin.

Teksti: Jari Tuunanen

IAEA:N MÄÄRITELMÄN MUKAAN ydinvoimalaitoksen käytöstäpoisto voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: jo käytön aikana alkavaan **valmistautumisvaiheeseen, siirtymävaiheeseen** jonka aikana mm. siirretään käytetty polttoaine pois laitokselta välivarastoon ja varsinaiseen **purkuvaiheeseen** jonka aikana koko laitos tai vain sen radioaktiiviset osat pu-



TkT Jari Tuunanen
Director, Nuclear Waste
Fortum
jari.tuunanen@fortum.com

retaan. Siirtyminen tuotannosta käytöstäpoistoon tarkoittaa suuria muutoksia niin laitoksen riskitasoon, organisaatioon ja resursseihin, toiminnan lupaehtoihin ja joissain tapauksissa myös laitoksen omistukseen ja luvan haltijaan.

Käytöstäpoistoon valmistautuminen

Käytöstäpoiston valmistautumisvaiheessa karotetaan purettavan laitoksen radioaktiivisen jätteen määrä ja laatu, laaditaan tarvittavat tekniset suunnitelmat purkutöille ja mahdollisesti myös purkujätteen loppusijoittamiselle, haetaan viranomaiselta tarvittavat luvat purkutöille, tehdään tarvittavat valmistelut purkujätteen loppusijoitukselle sekä valmistellaan välttämättömät muutokset laitoksen organisaatioon. Lisäksi laitoksen varastoissa olevat radioaktiiviset jätteet on tarpeen käsitellä, mikäli mahdollista, jo ennen laitoksen alasajoa ja purkutöiden aloittamista, jotta purkutöihin päästäisiin sujuvasti.

Mikäli ydinvoimalaitos joudutaan sulkemaan ennen aikaisesti esimerkiksi poliittisen päätöksen takia, voivat valmistelutyöt olla suurelta osin tekemättä, kun tuotanto loppuu.

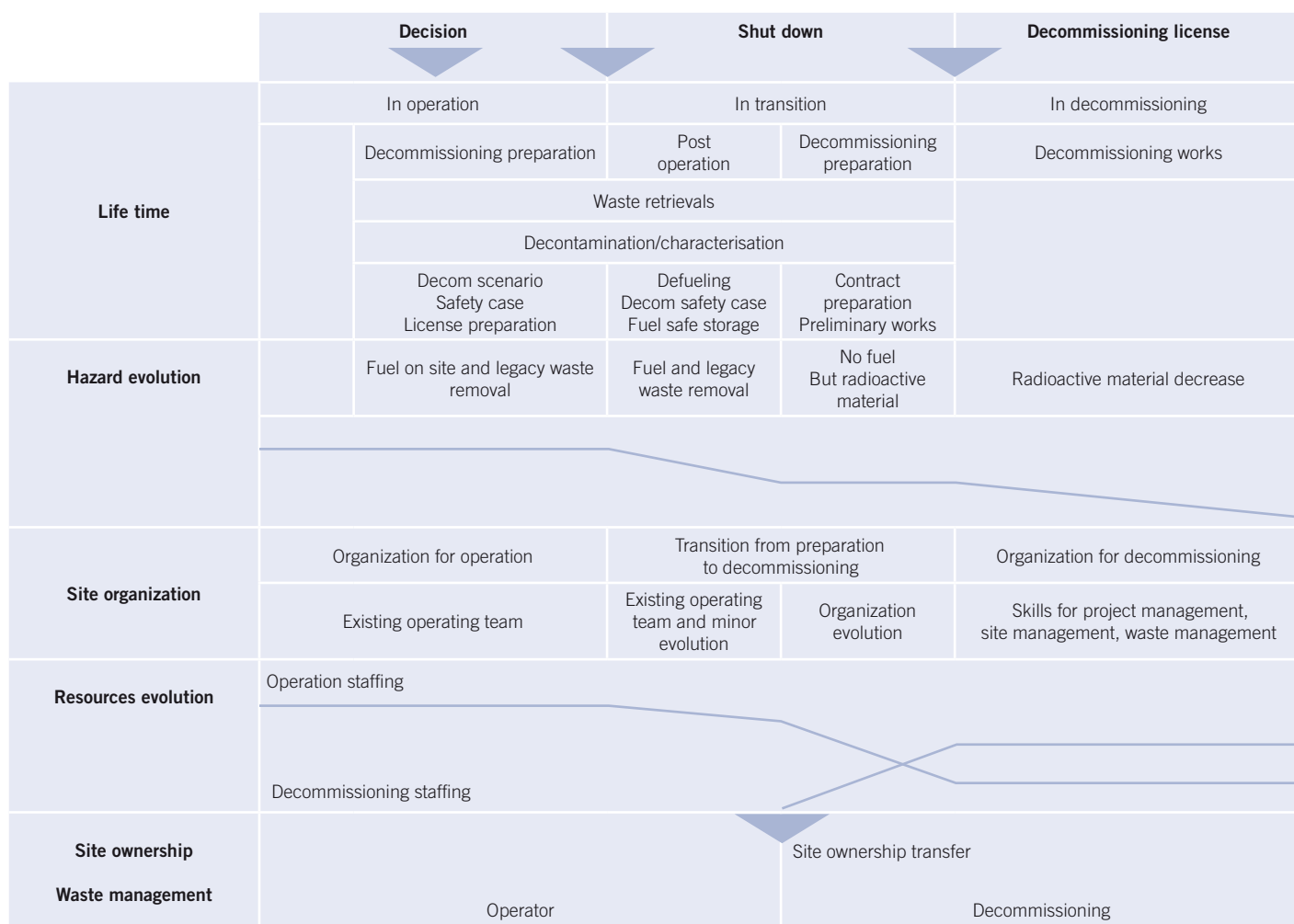
Tällöin käytöstäpoiston valmistelu voidaan joutua tekemään tilanteessa, jossa ydinlaitos toimii yhä käyvän laitoksen lisenssin alaisuudessa. Tämä nostaa käytöstäpoistohankkeen kustannuksia, sillä laitosta joudutaan ylläpitämään samoilla periaatteilla ja miehityksellä kuin käynnin aikana. Esimerkiksi Saksassa professori Thomausken mukaan noin puolet käytöstäpoiston kustannuksista tulee sulkeamisen jälkeisistä käyttökustannuksista (post operation) itse purkutöiden ja loppusijoituksen kattaen toisen puolen.

Loviisan voimalaitoksen osalta valmisteluvaiheen kustannuksia ei lasketa mukaan käytöstäpoiston vaan laitoksen käytön kustannuksiksi. Valmisteluvaiheen työt on tarkoitus tehdä pääosin laitoksen käyttöhenkilökunnan toimesta. Purkujätteen loppusijoituslaitoksen rakentamisen, joka tapahtuu laitoksen vielä käytössä, kulut ovat kuitenkin myös meillä mukana käytöstäpoiston kustannuksissa.

Siirtymävaihe käytöstä käytöstäpoistoon

Tärkeimpiä töitä käytöstäpoiston siirtymävaiheessa on polttoaineen siirto reaktorista ja lautasaltaista käytetyn polttoaineen välivarastoon. Mikäli välivarasto ei ole käytettävissä joudutaan sellainen rakentamaan. Käytöstäpoiston kustannusarvioissa on toisinaan mukana myös käytetyn polttoaineen välivaraston rakentamis- ja käyttökustannuksia. Uuden käytetyn polttoaineen kuivasäiliövaraston kustannukset voivat nousta useisiin kymmeniin miljooniin euroihin. Esimerkiksi Zionin laitoksen käytetyn polttoaineen varaston kustannukset olivat 20–30 milj.\$ ja vuotuiset kustannukset säiliöiden hankinnasta, pakkaamisesta ja käytöstä 7–10 milj.\$.

Suomessa käytetyn polttoaineen varaston rakentamisen tai käytön kustannukset eivät ole mukana käytöstäpoiston kustannuksissa vaan erillisenä eränä ydinjätehuollon varautumisessa. Sekä Loviisassa että Olkiluodossa on jo käytössä käytetyn polttoaineen välivarastot eli uutta varastoa ei tarvitse purkuvaiheessa rakentaa eikä laitosalueen ulkopuolisille polttoainekuljetuksille ole tarvetta. Ydinjätehuollon varautumisessa on meillä mukana myös varastojen itsenäistämiskulut joihin sisältyvät tar-



Käytöstäpoiston vaiheet ja niihin sisältyviä muutoksia (lähde: IAEA).

vittavat muutokset varastoihin niin, että niitä voidaan käyttää itsenäisinä ydinlaitoksina voimalaitoksen käytön päättyttyä.

Käytöstäpoiston valmisteluvaiheen lupaehdot vaikuttavat siihen millaisiksi kustannukset nousevat. Kuten edellä todettiin, kustannukset nousevat, mikäli joudutaan toimimaan käyvän laitoksen lupaehtojen mukaisesti. Siirtymävaiheen töihin kuuluu myös laitoksen putkistoissa ja järjestelmissä sulkemisvaiheessa jäljellä olevien radioaktiivisten nesteiden käsittely ja loppusijoitus. Nesteiden määrä on suuri ja niiden käsittely vaatii esimerkiksi Loviisassa myös jonkin verran rakennustöitä, jotta nesteet saadaan siirrettyä käsittelypaikalle.

Purkuvaihe

Varsinaisessa purkuvaiheessa puretaan laitoksen radioaktiiviset ja mahdollisesti myös ei-radioaktiiviset osat ja järjestelmät. Puhtaiden järjestelmien ja rakenteiden purkua ei Suomessa

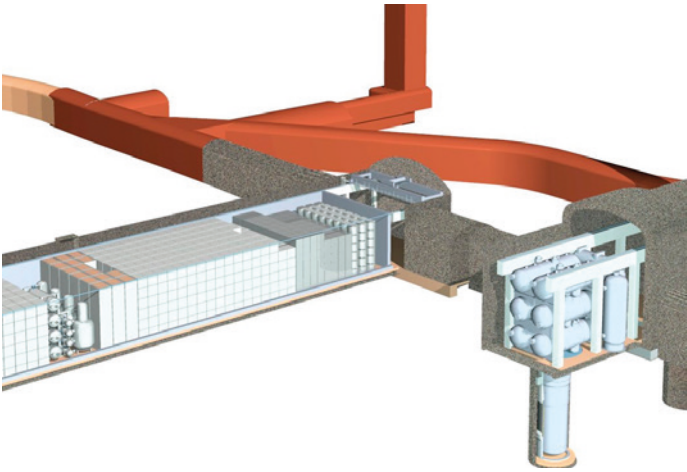
lasketa käytöstäpoiston kustannuksiin eivätkä nämä kustannukset ole mukana ydinjätehuollon varautumisessa. Kyseiset kustannukset on kuitenkin huomioitu esimerkiksi Fortumin IFRS-luvuissa.

Käytöstäpoiston kustannuksia ovat perinteisesti nostaneet yllätykset purkulaaajuudessa eli kustannukset, joita syntyy siitä, että kontaminaatio on levinnyt laajemmalle alueelle kuin oletettiin. Myös laitoksen kunto voi osoittautua sellaiseksi, että käytöstäpoisto pitää aloittaa rakennustöillä. Esimerkiksi Jose Cabrera -laitoksella Espanjassa käytettiin noin miljoona euroa turbiinihallin katon vahvistamiseen, ennen kuin turbiinilaitos voitiin muuttaa purkujätteen käsittelytilaksi.

Reaktorin sisäosien ja paineastian paloittelu on yksi vaativimmista käytöstäpoiston osatehtävistä. Suomessa paineastiat ja sisäosat on tarkoitus loppusijoittaa kokonaisuudessaan paineastiaa pakkauksena. Tällä säästetään sekä aikaa että purkukustannuksia.

Joissain käytöstäpoiston kustannusarvioissa on mukana myös laitoksen ei-aktiivisten osien purkukustannukset. Kuten edellä todettiin, puhtaiden rakennusten purkukustannukset on meillä arvioitu erikseen. Puhtaiden järjestelmien purusta kertyvän purkumetallilla arvo voi olla huomattava. Slovakiassa kahden VVER-440 -laitosyksikön purku tuotti noin 18 miljoonaa euroa puhtaiden metallien myyntituloja.

Ranskassa on viime aikoina arvosteltu EdF:n käytöstäpoiston kustannusarvioita liian optimistisina. EdF on puolustautunut toteamalla, että yhtiön on tarkoitus toteuttaa laitosyksiköiden purku sarjatyönä. Maan ydinvoimalaitokset edustavat pääasiassa kahta tyyppiä ja samoilla laitospaikoilla on useampia laitosyksiköitä. EdF uskoo, että laitosyksiköiden purku sarjatyönä alentaa kustannuksia huomattavasti osaamisen ja työmenetelmien kehittyessä. Vastaavaa oppimisen kautta tulevaa säästöä työmenetelmien kehittyessä EdF



Loviisan voimalaitoksen purkujätteen loppusijoitustilan periaatesuunnitelma on tehty (kuva: Elias Mayer).

on onnistunut hankkimaan laitosten höyryntintien vaihtotöissä.

EBRD:n rahoittamat purkuhankeet Ignalinassa, Bohunicessa ja Kosloduyssa ovat ylittäneet alkuperäiset kustannusarviot ja työt ovat edenneet suunniteltua hitaammin. European Court of Auditors arvosteli hankkeiden etene mistä viime vuoden syksyllä ilmestyneessä raportissa. Hankkeiden vieminen loppuun edellyttäisi merkittävää lisärahoitusta, jonka löytyminen tulee olemaan haastavaa.

Purkujätteen kierrätys tai suora loppusijoitus

Saksan ydinvoimalaitosten purkuhankeissa tavoitteena on puhdistaa ja kierrättää mahdollisimman suuri osa purkujätteestä. Tämä on luonnollista, sillä purkujätteen loppusijoitustiloja ei vielä ole käytettävissä. Loppusijoitettavan jätteen määrä onkin mahdollista saada pieneksi, mutta jätteen kierrätys vie aikaa, hidastaa purkuprosessia ja kasvattaa työ kustannuksia.

Yhdysvalloissa kahden Zionin ydinvoimalaitoksen kahden PWR-yksikön purkutytöt on ulkoistettu Energy Solutions yhtiölle. Yhtiö sai

käyttöön ydinjätehuoltorahastossa olleet varat ja toteuttaa purun näillä rahoilla vieden purkujätteen yhtiön omistuksessa olevaan loppusijoitustilaan. Purkutöissä hyödynnetään niin sanottua Rip and Ship -konseptia eli laitos paloitellaan isoihin paloihin ja palat viedään sellaisinaan loppusijoitukseen. Loviisan voimalaitoksen purussa on tarkoitus hyödyntää samaa periaatetta. Loviisassa, samoin kuin Olkiluodossa, kustannuksia alentaa merkittävästi se, että loppusijoitustila sijaitsee laitosalueella jolloin purkujätteen merkittävälle väli-varastoinnille ei ole tarvetta.

Purkujätteen loppusijoitus

Puutteellinen jätehuolto johtaa laajaan jättemateriaalin puhdistukseen ja kierrätykseen sekä tarpeeseen rakentaa ylimääräisiä väli-varastotiloja. Esimerkiksi Ruotsissa SFR-loppusijoitustilan laajennus saadaan käyttöön 2020-luvun lopussa ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustila SFL vasta parinkymmenen vuoden kuluttua. Barsebäck, joka suljettiin jo yli 10 vuotta sitten, on odottanut näiden tilojen käyttöönottoa jo kymmenen vuotta ja odotus jatkuu. Paloiteltu paineastia ja sisäosat onkin

tarkoitus väli-varastoida laitosalueelle äskettäin rakennettuun väli-varastoon.


Suomessa loppusijoitustilat purkujätteelle on tarkoitus rakentaa laitospaikoilla olevien matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilojen yhteyteen. Kyseiset tilat ovat vielä luvittamatta, mutta tiloista on olemassa periaatesuunnitelmat. Epävarmuudet loppusijoitustilojen rakennuskustannuksissa ovat pieniä sillä jo rakennettujen tilojen toteutuneita kustannuksia voidaan hyödyntää purkujätteen loppusijoitustilojen kustannuksia arvioitaessa.

Organisaatio

Ydinvoimalaitoksen sulkeminen on suuri sosiaalinen muutos niille paikkakunnille, jotka ovat hyötynneet käyvistä laitoksesta. Joissain purkuhankeissa osa kustannuksista on ohjattu sosiaalisiin hankkeisiin, joilla sulkemisen haittavaikutuksia on pyritty pienentämään (esimerkiksi Greifswald Saksassa).

Ydinvoimalaitoksen lähestyessä käyttöikänsä päätöstä osa työntekijöistä lähtee hakemaan uusia töitä jo ennen purkuvaihetta. Joissain purkuhankeissa työntekijöille on maksettu merkittäviä ylimääräisiä korvauksia (vuospalkan suuruusluokkaa) siitä että he pysyvät töissä myös purkuajaksi. Tällä on pyritty varmistamaan laitoksen hyvin tuntevan henkilöstön saatavuus myös purkuvaiheessa.

Yhteenvedo

Ydinvoimalaitoksen käytöstäpoisto voidaan toteuttaa kustannustehokkaasti, jos se suunnitellaan ja toteutetaan huolellisesti pitäen myös huolen siitä, että purkujätteen loppusijoitus on mahdollista toteuttaa ilman pitkiä odotuksia. Suomessa IVOn insinöörit olivat kaukaa viisaita suunnitellessaan Loviisan voimalaitosjätteen loppusijoitustilaa. Tila on rakennettu siten, että voimalaitoksen suuret komponentit, höyrytimet ja reaktoripainesäiliö, on mahdollista kuljettaa luolaan kokonaisena. Tämä luo tuleville sukupolville hyvän lähtökohdan toteuttaa voimalaitoksen purku kustannustehokkaasti. 

Lähteet

Vladimir Michal, Team leader, Decommissioning and ER team, WTS, IAEA. Nuclear Power Plants Decommissioning. 19 March 2013.

POLITICAL SITUATION FOR DECOMMISSIONING IN GERMANY. Prof. Dr. Bruno Thomauske, RWTH Aachen University, Germany. MEP Forum Strasbourg 26th November 2015.

Special report. EU nuclear decommissioning assistance programmes in Lithuania, Bulgaria and Slovakia: some progress made since 2011, but critical challenges ahead. European Court of Auditors. 2016.

Muistoissa

Jorma K. Miettinen (11.8.1921–11.2.2017)

Akateemikko sekä ATS:n kunniajäsen Jorma K. Miettinen käynnisti radiokemian opetuksen ja tutkimuksen Suomessa. Hän toimi radiokemian professorina Helsingin yliopistossa neljännesvuosisadan ja hänen tutkimuksensa saivat laajaa kansainvälistä huomiota. Hänet tunnettiin innostavana opettajana opiskelijoilleen ja keskustelijana, joka välitti ansiokkaasti tieteellistä tietoa tiedeyhteisölle ja suurelle yleisölle.



MIETTINEN SYNTYI HELSINGISSÄ ja asui siellä lähes koko ikänsä. Hän aloitti koulunkäyntinsä suoraan Tapanilan kansakoulun toiselta luokalta ja kolmannen luokan jälkeen hänet lähetettiin oppikouluun Oulunkylään kaksi vuotta muita nuorempana. Syksyllä 1939 hän aloitti kemian opinnot Helsingin yliopistossa, mutta jo 10. lokakuuta ”ylimääräiset kertausharjoitukset” keskeyttivät hänen opintonsa. Miettinen liittyi suojeluskuntaan ja edelleen tammikuussa 1940 vapaaehtoisena armeijaan Hyrylään ja sieltä RUK:hon Niinisaloon. Hän palveli jatkosodassa jääkärijoukkueen johtajana ja kompanian päällikkönä vapautuen armeijasta keuhkokuumeella 1945. Sodan aikana vuonna 1943 hän myös meni naimisiin luokkatoverinsa kanssa 22-vuotiaana.

Miettisen asepalvelus kesti yhteensä viisi vuotta. Tänäkin aikana hän kuitenkin jatkoi osittain opiskelua tekemällä yhden vuoden opinnot asemasodan aikana niin kutsutussa Syvärin yliopistossa, joka oli yhden assistentin johtama yhden huoneen yliopisto Syvärin voimalaitoksessa. Sodan jälkeen Miettinen jatkoi Helsingin yliopistossa valmistuen vuonna 1948 organikoksi tarkoituksenaan edelleen jatkaa opintojaan orgaanisen kemian professorin Niilo Toivosen alaisuudessa. Toivonen kuitenkin sai puhelinsoiton Artturi Ilmari Virtaselta, joka kertoi tarvitsevänsä hyvää orgaanikkoa, ja Miettinen siirtyi Nobelpalkitun Virtasen johtamaan yliopiston biokemian laboratorioon. Tohtoriksi Miettinen väitteli vuonna 1954.

Miettinen teki Suomessa 1950-luvun puolivälissä ensimmäiset atomipommikokeiden radioaktiivisten laskeumien analyysit lumesta ja sadevesistä. Atomienergianeuvoittelukunta antoi hänelle määrärahan, jonka avulla Miettinen rakennutti aivan uudelleenlaisen pakettikuorma-auton liikkuvaksi laboratoriksi ja suoritti mittauksia ympäri maata, erityisesti Lapissa ja lappalaisista. Hän selvitti ravintoketjujen osuutta radionuklidien rikastumisessa sekä tämän vaikutusta arktisten alueiden asukkaisiin.

Miettisen aloitteesta perustettiin Helsingin yliopistoon oma radiokemian laitos, jonka vt. professoriksi hänet nimitettiin vuonna 1962 ja professoriksi 1964. Tätä virkaa hän hoiti eläkkeelle jäämiseensä, vuoteen 1986 asti, opettaen kymmeniä radiokemistisukupolvia. Miettinen tunnettiin innostavana tieteen kansantajuistajana opiskelijoidensa ja suuren yleisön keskuudessa. Hänen johdossaan tutkimus ja opetus jaettiin kolmelle eri alalle: (1) radioisotooppien käyttö ja analytiikka, (2) säteilykemiat sekä (3) ympäristöradiokemiat. Laskeumatutkimukset synnyttivät Miettisen ideoimina jatkuvasti uusia hankkeita, kuten luonnollisen radioaktiivisen laskeuman tutkimukset, raskasmetallit ja transuraanit ympäristöongelmana ja ydinjätteiden konsentroiden menetelmät.

Miettinen tunnetaan myös näkyvästä työstään Pugwash-liikkeessä, joka sai alkunsa Albert Einsteinin ja Bertrand Russelin laatimasta manifestista, jossa suurvaltoja kehoitettiin lopettamaan koko ihmiskunnalle vaarallinen aseiden tuotanto ja ennen kaikkea niiden räjäyttämisen ilmatilassa. Tieteentekijöiden

Pugwash-liikkeelle myönnettiin vuonna 1995 Nobelin rauhanpalkinto, jota myös Miettinen oli noutamassa. Liikkeessä hän keskittyi erityisesti kemiallisen ja biologisen asevarustelun pysäyttämiseen.

Miettinen sai myös henkilökohtaisesti useita palkintoja. Hänelle myönnettiin vuonna 1987 Helsingin yliopiston tiedonjulkistamispalkinto. Vuonna 1994 hän sai Suomen arvostetuimman kemian tunnustuspalkinnon, kultaisen Gadolin-italin. Akateemikon arvonimi hänelle myönnettiin vuonna 1995. Vielä vuonna 2006 hän sai Kristillisen rauhanliikkeen rauhanpalkinnon.

Koko elämänsä Miettinen innostui uuden oppimisesta. Hyvin kuvaava osoitus tästä oli hänen 80-vuotishaastattelussa Helsingin Sanomille kertomansa, kuinka hän harmitteli syntyneensä niin aikaisin, ettei ollut täysin päässyt tietokoneaailmaan mukaan. Hän seurasi aktiivisesti paitsi geeniteknikkaan ja biologisilta aseilta suojautumiseen liittyvää tutkimusta myös nuoruutensa lempitiedettä avaruustieteitä ja tietoliikenteen turvallisuushankkeita. Osallistuipa hän jopa muutamalle geeniteknologian laboratorio-työkurssillekin yhdessä opiskelijoiden kanssa 2000-luvun alussa. Poikkeuksellinen vastuuntunto globaalista turvallisuudesta ja palava into uuden oppimiseen tekivät Miettisestä harvinaislaatuisen yhteiskunnallisen vaikuttajan. ☸

Kirjoituksen on laatinut ATS Ydintekniikan toimitus pohjautuen julkisesti saatavilla oleviin lähteisiin.

Decreasing uncertainty in seismic hazard estimates in Fennoscandia by use of seismic source modeling

Vilho Jussila¹, Billy Fälth², Björn Lund², Jouni Saari³, Peter Voss⁴, Jari Puttonen⁵, Ludovic Fülöp¹

¹ VTT Technical Research Center of Finland Oy, Finland, ² Uppsala University, Sweden, ³ ÄF-Consult Oy, Finland,

⁴ Geological Survey of Denmark and Greenland, Denmark, ⁵ Aalto University, Finland

Seismic hazard estimates for Nuclear Power Plants (NPPs) in Finland are based on the probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) method. The methodology integrates information from seismic activity levels in areas surrounding the NPP's with models for the transmission of ground motion from the seismic source (GMPEs). GMPEs are calibrated with observed earthquake ground motions and express the relationship between the expected peak ground motion and the distance from the seismic source. The variability at a given distance can be significant, so it is important to calibrate GMPEs with sufficient data especially from larger magnitude earthquakes relevant for the safety of NPPs. In order to strengthen the reliability of GMPEs used in Finland we propose that synthetic ground motions are generated as surrogates for actual observations. Synthetic data can complement the calibration of the GMPEs in ranges of magnitude and distance where measurement data is missing. In this paper we describe a procedure for generating synthetic ground motions in the vicinity of larger earthquakes. We show the resulting patterns of ground motion and compare them to existing GMPEs. Finally, we show why the new Fennoscandia GMPEs should not be used for seismic hazard assessments before the coming update.

Suomalaisten ydinvoimalaitosten seismisten riskien arviointi perustuu todennäköisyyspohjaiseen analysointimenetelmään. Se yhdistää tietoa seismisistä aktiivisuustasoista ydinvoimalaitosten lähellä ja seismisten aaltojen etenemisestä seismisestä lähteestä laitospaikalle. Menetelmää nimitetään maanliikkeen arviointiyhtälöksi (GMPE). GMPE kalibroidaan ottamalla huomioon suurin odotettavissa oleva maanliike ja etäisyys seismisestä lähteestä. On tärkeää, että lukumäärällisesti voimakkaita maanjäristyksiä on riittävän paljon mukana laskelmissa, koska maanliikkeen vaihtelevuus voi olla suurta halutulla etäisyydellä seismisestä lähteestä. Lisäksi koska Suomen mittakaavassa suuret maanjäristykset ovat harvinaisia, GMPE:n luotettavuutta voidaan lisätä simuloimalla maanliikettä. GMPE voidaan kalibroida synteettisen datan avulla tapauksissa, joissa mitattua dataa ei ole saatavissa kaikilla mahdollisilla maanjäristysvoimakkuuksilla ja etäisyyksillä episentristä. Tässä artikkelissa esittelemme maanliikkeen simulointimenetelmiä. Tuloksia on verrattu nykyisin käytössä olevaan GMPE:hen. Lopuksi näytämme minkä takia uutta Fennoskandian GMPE:tä ei pitäisi käyttää seismisten riskien määrittämiseen ennen kuin uusi korjattu versio on julkaistu.

In Finland, the study of seismic hazard started in the 1970s along with the Loviisa and Olkiluoto nuclear power plant (NPP) projects. In the early and mid-1980s seismic hazard was studied by Varpasuo and Puttonen at Imatran Voima Oy. Usually these studies were published in Finnish as internal technical reports such as the references [1], [2], [3], [4]. However, they were also often summarized as conference presentations [5], [6]. Seismic source zones were delineated and the

Gutenberg-Richter equation coefficients calibrated for the source zones. Together with postulated credible maximum magnitudes for the zones, these studies established peak ground (PGA) and spectral accelerations (PSA) for southern Finland. In the studies, decision-trees were used to handle epistemic uncertainties. These uncertainties arise from competing, but credible, proposals for seismic zoning and for attenuation or GMPEs. Logic-trees allow the use of several zoning/GMPE

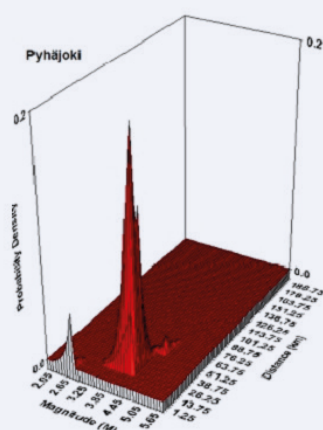


Figure 1. De-aggregation plot of hazard sources for $PGA=0.1xg$ for a location at Pyhäjoki in northern Finland. Mean magnitude is $M=4.32$, mean distance 24 km [12], [13].

alternatives within the same PSHA model, as long as weighting factors can be assigned to each. The activity levels were reevaluated in several contexts for instance by Saari et al. [7] and with the extended interest on northern Finland by Korja and Kosonen [8].

Since the lack of larger magnitude earthquakes and its consequences on GMPEs were well understood, the proposal was made to use Canadian and Australian strong motion recordings as surrogates to local data to simulate seismic ground motion and its frequency content in Finland [9].

Generally, a gradual increase of hazard can be observed from consecutive PSHA studies for NPPs in southern Finland. However, hazard levels remain low, with the peak ground acceleration (PGA) for safe shutdown earthquake (SSE) in Loviisa and Olkiluoto not reaching even the value of $0.1xg$, which is currently recommended by the IAEA as basic minimum threshold for NPPs in low-seismic regions [10], [11].

Besides the usual PSHA output of level of hazard, one of the outcomes of recent seismic hazard studies has been that de-aggregation

of the hazard is pointing to certain dominating ranges of magnitudes and distances. Specifically, as can be observed from the probability density peaks in Figure 1, the main source of hazard is small-to-moderate magnitude earthquakes within relatively short epicentral distances [12], [13], [14].

The ground motions in the near field are somewhat particular and differ from the far-field ones [15]. The ground motion in the far-field reveals several types of waveforms (i.e. pressure wave, shear wave and surface waves) in an arrival sequence. However, near the epicenter the arrival times of waves are very close and several types of waves overlap creating more significant acceleration peaks [14].

GMPEs based on locally available empirical data

The most recent GMPEs for low and medium size earthquakes in Fennoscandia was proposed by Vuorinen [16]. In fact two versions of GMPE equations, called “reference Pezeshk” (REP) and “empirical Pezeshk” (EMP) were calibrated to Finnish and Swedish data, both based on the mathematical form initially proposed by Pezeshk (Figure 2). However, observations were missing for higher magnitudes and the validity of the GMPE is limited to about magnitude 4–4.5 [16]. In fact, in the range of larger magnitudes the GMPE was calibrated to very few data points, as illustrated in Figure 2.

After the initial calibration of the equation parameters, the GMPE was compared to data from Canadian events of larger magnitude in the ranges of 4.9–5.1, 5.2–5.4, 5.5–5.7 and 5.8–5.9. For most events recordings were available only from distances larger than 100 km. However, for some events recordings were available at an epicenter distance of 5.9 km (Figure 3). Data from recent earthquakes with larger magnitudes in Sweden, for example the M4.1 Sveg earthquake (2014-09-15) and the M4.1 Bottenviken earthquake (2016-03-19), have been compared to the REP predictions from [16] and the comparisons support the validity of the PGA predictions for these ranges of magnitudes. For the sake of simplicity, we will call REP and EMP as the new Fennoscandia GMPEs from now on.

Glossary of terms

Hypocenter

The point within the earth where the earthquake rupture is initiated

Epicenter

The point on the Earth’s surface above the hypocenter

Epistemic uncertainty

Uncertainty attributable to incomplete knowledge about a phenomenon that affects the ability to model it

Fault

The fracture in the Earth along which motion has occurred

Strike direction

The direction of the fault, clockwise in degrees with respect to north

Rupture area

The area of the part of the fault that slips during an earthquake

Near-Field

The terms near-field and far-field are used in the text in the rough sense as outlined for example by Gioncu and Mazzolani [1] and the underlying engineering literature. A near-field site has an epicentral distance of about 25–40 km, while a far-field site is located at a distance four-five times the hypocenter depth

Maximum magnitude

The magnitude of the biggest earthquake expected to ever occur in a certain area

GMPE

Ground Motion Prediction Equation

PGA

Peak Ground Acceleration

PSHA

Probabilistic Seismic Hazard Assessment

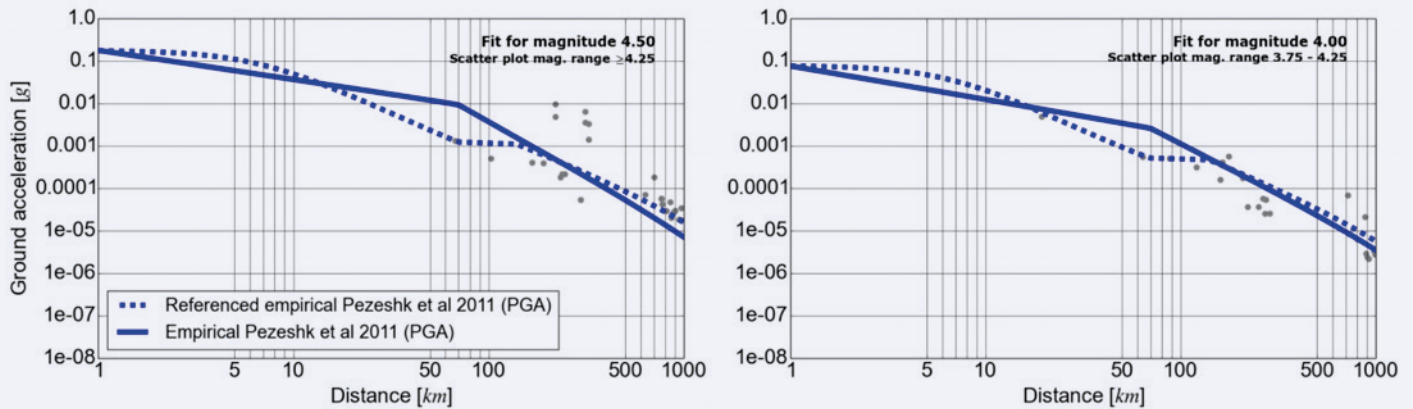


Figure 2. Data (grey dots) used for the calibration of the GMPEs by Vuorinen (dashed blue line) in the higher range of magnitudes of $M \sim 4-4.5$ [16].

As Figure 2 and Figure 3 reveal, more data would be needed to support the validity of the GMPEs in the near field of the epicentres. However, the chance that such data will be available in Fennoscandia is low due to the scarcity of higher magnitude earthquakes and constraints on the seismic monitoring in the region. Basically, the national seismic networks in Finland and Sweden have permanent stations deployed with average nearest station-to-station distances of approximately 50–80 km. In addition, the instruments are calibrated to measure small vibrations and therefore become saturated at strong ground motions, rendering the data unusable for PGA estimates. Major upgrades of the networks are not likely, but efforts should be made to deploy a number of accelerometers in order to capture strong ground motions.

As replacement for empirical data, we suggest that synthetic ground motions could be used to quantify the level and uncertainties of the near field of the GMPEs, used for hazard estimates in Finland. This paper presents a two-step methodology to simulate synthetic ground motions. First a detailed dynamic model of the rupturing area of the causative fault is developed. The outcome of this model is the tempo-

ral slip evolution on the fault. Secondly, this fault slip model (i.e. slip direction, slip velocity and time of slip) is used to simulate ground motions in the vicinity of the fault.

This type of hybrid modelling is applied because the methodology for simulating the earthquake rupture would be computationally very demanding for the propagation of seismic waves at higher frequencies (>2–3 Hz) to large distances [17]. The aim of the work, at this stage, was to demonstrate the feasibility of generating synthetic ground motions with frequencies up to about 25 Hz. This frequency corresponds to the traditional cut-off frequency used when processing strong motion data, for example for the European Strong Motion Database [18]. The cut-off frequency of some established GMPE's is given as 20–35 Hz by Douglas [19]. Hence, for compatibility the target of 25 Hz is justified. On the other hand, on the hard Finnish bedrock and when analysing very stiff structures and equipment, knowledge of higher frequencies may be required. The longer term goal of this work is to develop larger databases of synthetic ground motion data, covering a broader range of magnitudes, fault orientations, fault complexities and distance ranges.

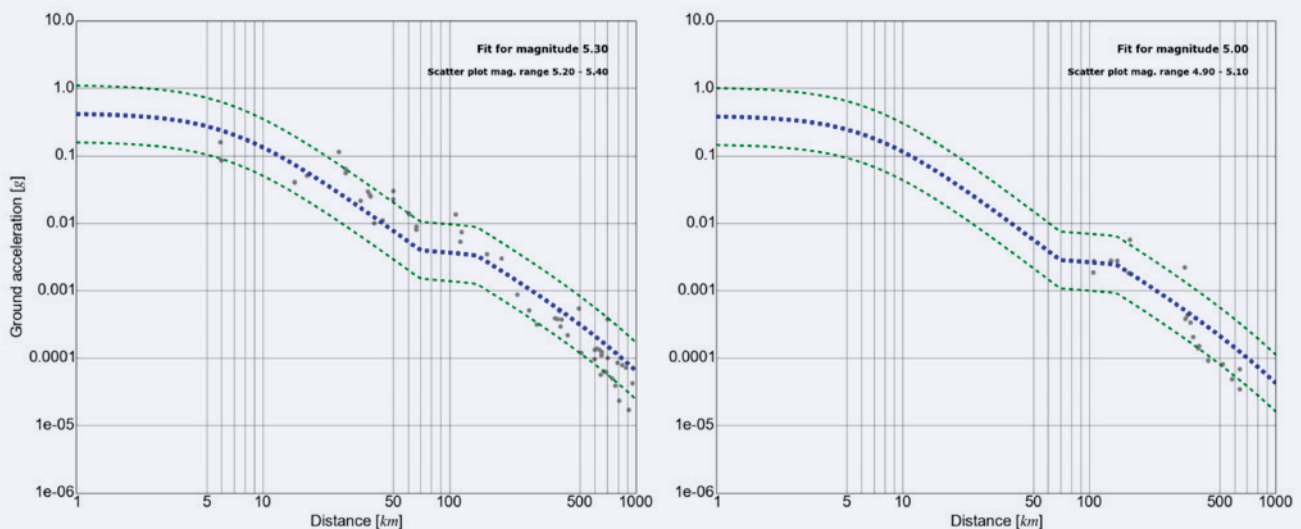


Figure 3. Data from events from Canada (grey dots) compared to REP formulation GMPE prediction [16] (dashed blue line) in the higher range of magnitudes of $M \sim 5-5.3$. The limits of ± 1 standard deviation have been plotted with green dashed lines [16].

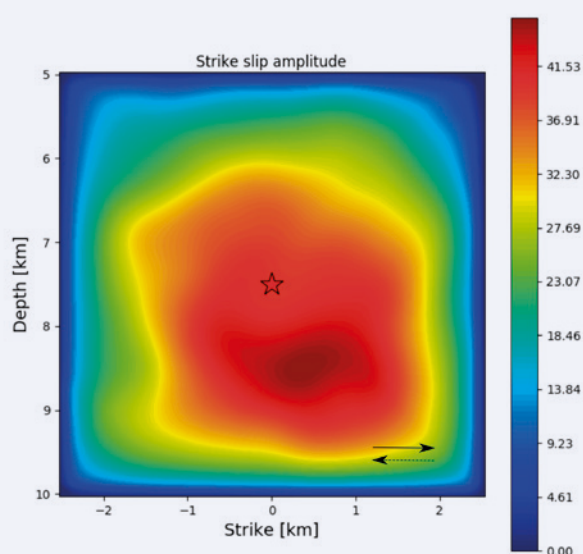


Figure 4. The fault slip distribution in centimeters on the $5 \times 5 \text{ km}^2$ rupture area. The hypocenter is indicated by a star. Only horizontal/strike direction movement is present as shown by arrows.

km depth. In order to introduce some randomness in the rupture process, a spatial variation of the fault frictional strength was applied.

Modelling of the ground motion in Compsyn

When ground motions are simulated it is an acceptable assumption to model the Earth's crust as an elastic medium, which carries pressure (P-) and shear (S-) waves from the source to the ground surface. The crust was also laterally layered in order to account for the significant changes in density and velocities with depth. The velocity profile of the medium was typical for Nordic conditions (Table 1), adapted from the model suggested by the Institute of Seismology of the University of Helsinki, with modifications close to the surface using borehole data at the NPP site in Loviisa [14], [22]. Typically, shallower depths are characterized by the lowest wave velocities. Each layer boundary in the earth model is a discontinuity creating reflection, transmission and refraction of waves according to Snell's law [23]. Waves may also diffract around obstacles, an effect ignored in this simulation.

The synthetic ground motions were computed with the Compsyn package [24], [25], [26]. Compsyn incorporates finite element method to compute response of over and under lying medium of the fault. The rupture process on the fault is described with a kinematic slip model, which here is the result of a 3DEC simulation. The strength of Compsyn is the complete response of the considered earth structure and all P-, S- and surface waves. However, the computation effort for higher frequency content is still significant, due to the required number of elements to represent high frequency content correctly. Compsyn does not restrict the highest possible frequency of a simulated waveform, but in practice large-area simulation of the ground motion could be done up to 15.0 Hz. Even higher frequencies can be simulated at restricted locations of interest. Alternatively, Compsyn could be coupled with ISOSYN [27] for the simulation of high frequencies.

A limitation is that the attenuation due to inelasticity outside of the fault area cannot be taken into account with Compsyn. However, geometrical attenuation is included proportionally to $1/\text{distance}$ on the earth surface.

Results and comparison with GMPEs

The highest frequency considered in these simulations was 10.0 Hz. A dense 1-by-1 km grid was used for output on the surface extending 20 km from the epicenter. The strike direction of the fault is east-west and the motion is left-lateral. In Figure 5 the vertical fault is indicated by a black line and the epicenter by a red star. The nature of the wave propagation is illustrated in terms of horizontal displacements in the radial and transverse directions corresponding to the P- and S-waves, and in vertical displacements. At 2.1 s after rupture initiation the first P-wave arrived and the following time instances 4.1 s and 5.9s visualize propagation of waves. At 8.0 s the propagating wave front is further than 15 km. Thus, within about 15 km radius from the epicenter the light red and blue lobes indicate static ground displacement. In general, the wave patterns agree with the expected ground motion patterns from a left-lateral vertical strike-slip fault.

To each output grid point on the ground surface, the accelerations were recorded. At each point, accelerograms consist of two horizontal and a

Table 1. Velocity model used in the simulation [14].

Depth (km)	Pressure P-wave (km/s)	Shear S-wave (km/s)	Density (g/cm^3)
0.0	5.30	3.10	2.65
0.8	5.80	3.30	2.72
15.0	6.45	3.75	3.02
42.0	6.89	3.90	3.07

Modelling of the earthquake rupture in 3DEC

An earthquake source model was generated using dynamic rupture modelling. The rupture was modelled using the 3DEC software package, which is a 3-dimensional modelling tool based on the distinct element method [20]. The model comprised a planar fault embedded in a small rock volume. An initial stress field was applied and an earthquake rupture was initiated and propagated along the fault plane. The fault slip was recorded at a large number of points on the fault. By fitting linear time-slip functions to these recordings, slip function parameters were obtained. The slip function parameters formed a kinematic fault slip model, which then was used as input to the ground motion modelling described in next section.

Here, one representative earthquake scenario is presented, using the magnitude ($M=5.5$) of the largest historic event in the region. This magnitude corresponds approximately to 25 km^2 rupture area [21], which here was schematically assumed to be square-shaped ($5 \times 5 \text{ km}^2$). Many earthquakes in the Baltic Shield take place at mid crustal levels of 10–20 km depth. However, since the goal was to provide ground motions in the near-field, it was assumed that the rupture takes place at a shallower depth. The scenario presented here was a pure left-lateral strike-slip event on a vertical fault plane, with its upper edge at 5 km depth (Figure 4). The hypocenter was located at the center of the rupture plane at 7.5

vertical components. Typically, horizontal acceleration is larger than vertical acceleration. The horizontal components are usually combined in single measure, for example by calculating the geometric mean or other averaging procedure [19]. The synthetic data is compared with the REP GMPE model, which is part of the new Fennoscandia GMPEs, in order to predict peak ground accelerations in Figure 6. The GMPE mean prediction is indicated by blue line, the green lines are the \pm one standard deviation bounds and black dots are measurements calibrating the GMPE [16]. It can be noticed that if any of the horizontal components in a considered coordinate is close to zero, then the resulted geometric mean is also close to zero. This is a known shortcoming of using geometric mean, strongly affecting polarized recordings also from measurements. In other words, in the locations of a low polarization using of geometric mean is feasible. For the model outputs, the effect is very pronounced for all recording points in which one of the horizontal components is in white and the other one is in blue or red at a particular location as shown in Figure 5. The strong polarization is the reason for the low-acceleration point cloud in left side Figure 6. In general, PGA computed from the simulation results fits well. If higher frequencies are included in the modeling we can expect an increase of the acceleration values and the fit would be even better.

Criticism of the new Fennoscandia GMPEs

When GMPEs cover a range of frequencies, spectral acceleration (SA) or pseudo-spectral acceleration (PSA) is used in the determination of GMPE. When geometric mean SA/PSA is computed from the horizontal acceleration components, the standard procedure is to:

1. Compute SA/PSA of the horizontal components at desired location
2. Compute geometric mean from the resulting SA/PSAs at the desired frequencies

However, according to [16] the new Fennoscandia GMPEs were computed as follows:

1. Compute geometric mean of the horizontal components at desired location
2. Compute SA/PSA from the resulting geometric mean signal

The above procedural error made it impossible to fit the modeling output to the new Fennoscandia GMPEs in a broader range of spectral frequencies. To highlight the influence of computation order, we computed PSA at the location $x=2$ km and $y=10$ km (Figure 5) according to above described processes. As one can observe in Figure 6 (right) that the second approach yields higher frequencies and lower amplitudes. The geometric mean spectrum is indicated in black. The shift of frequencies and change of amplitudes affect the entire frequency range of the spectrum, except the right side of the plot corresponding to the PGA where the two converge. This is also the reason for Figure 6 (left) to be in good agreement, since it is a PGA plot. Overall, we can state that the spectra (SA) part of the new Fennoscandia GMPEs are not suitable for comparison to the simulation results. The magnitude of deviation in PGA appears to be minor, while in SA/PSA it is unknown.

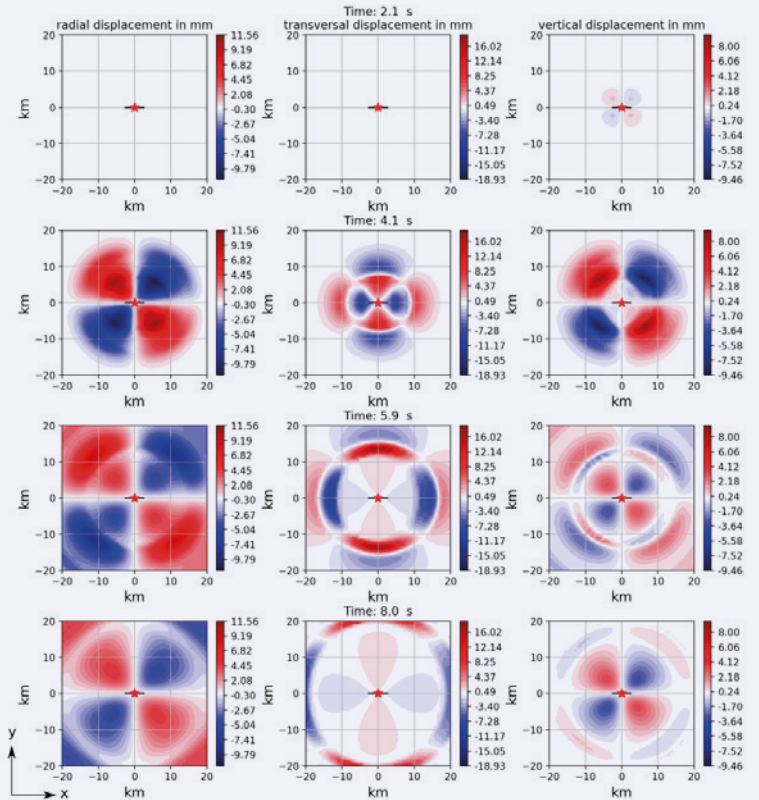


Figure 5. Phases of the wave propagation in radial, transversal and vertical direction in terms of displacement [mm] in the initial stages at 2.1s, 4.1s 5.9s and 8.0s, in map view with x to the east and y north. The vertical fault and the epicenter are indicated by black line in the x-direction and a red star respectively. The fault slip occurs in the x-direction (west-east) corresponding to left-lateral strike-slip motion.

Discussion

The review of the PSHA applied in Finland shows that scarcity of near field recordings results in doubts with regard to the validity of the GMPE in the near-epicentral region, and therefore uncertainty of the predicted hazard from that area. The importance of the near field region to the safety of nuclear power plants is highlighted by the de-aggregation results, which reveals this region as a major contributor to the hazard (Figure 1).

In this work we demonstrated how ground motion simulation can be used to create synthetic data to support the hazard prediction in the near field. The obtained radiation pattern is compatible with the chosen rupture scenario and the levels of ground motion seem to be in the range of the predictions of the GMPE. However, the comparison with the GMPE is feasible only for peak-ground accelerations (PGAs). As described earlier, the spectra part of the new Fennoscandia GMPEs [16] should not be used in the seismic hazard assessment before the upcoming update. We also suggest that the

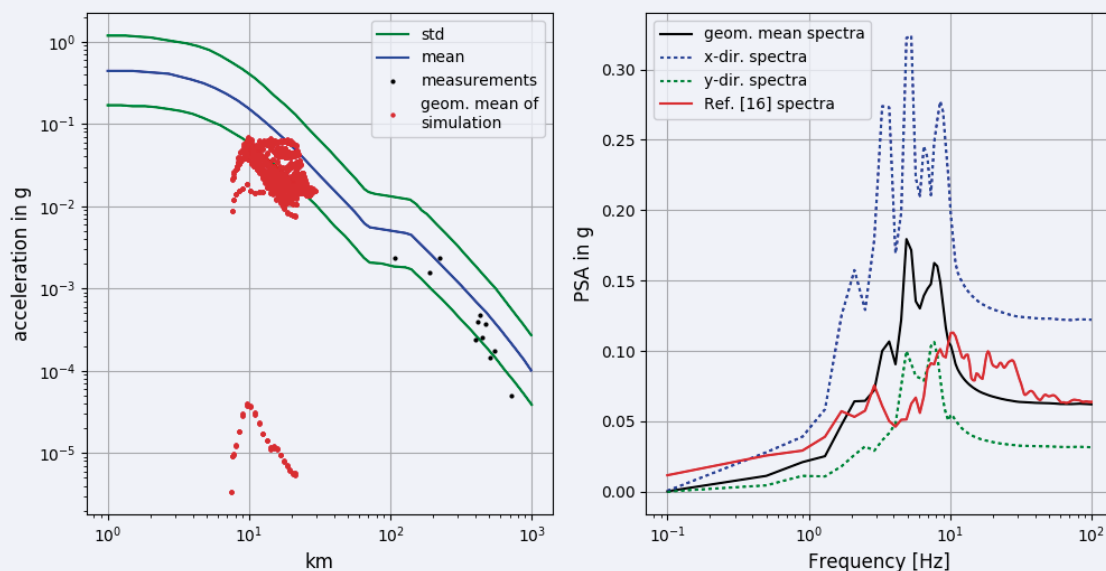


Figure 6. Left: a comparison of geometric mean simulation results (red dots) with the REP GMPE, which is part of the new Fennoscandia GMPEs [16]. It should be noted that the geometric mean in red is computed for all simulation distances from the epicenter. Blue line is the GMPE, green lines the ± 1 standard deviation bounds. Black dots are the few available measurements originally compared to the GMPE. Right: Spectra of x-direction (blue) and y-direction recording (green). Average spectra computed according to [16] with red while the geometric mean spectra with black lines. The location is $x = 2$ km and $y = 10$ km (Figure 5). Directions also correspond to the ones indicated on Figure 5.

geometric mean computation should be replaced by another averaging method, eliminating the unwanted feature of canceling polarized recordings from the data. This is especially important in the near-field, where polarization can be strong.

In order to have a more complete picture of the possible variations in ground motion we need to simulate other rupture scenarios, such as dip slip earthquakes and combinations of strike- and dip-slip ruptures. Encouraged by the preliminary results, we expect that the lack of near field observations can be filled by using synthetic ground motions.

Acknowledgements

This work was supported by the NKS project “Opportunities for Source Modelling to Support the Seismic Hazard Estimation for Nuclear Power Plants” (AddGROUND) in 2015/2016. The cooperation opportunity offered by this project between Uppsala University, Aalto University, ÅF-Consult Oy, the Geological Survey of Denmark and Greenland, the University of Helsinki and VTT Technical Research Center of Finland Oy is greatly appreciated.

References

- [1] Varpasuo P, Puttonen J. Etelä-Suomen seismisyriskitutkimus (Seismic risk study for Southern Finland), Imatran Voima Oy, Rakennussuunnitteluosasto, 1984.
- [2] Koskiahde A, Puttonen J, Saari J. Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen yleispiirteinen maanjäristystarkastelu (General study of seismic aspects of final disposal of spent nuclear fuel), Raportti YJT-85-18, Imatran Voima Oy, 1985
- [3] Varpasuo P, Puttonen J., Äärimmäisen maanjäristysliikkeen simulointi Etelä-Suomen alueelle (Simulation of the maximum ground motion induced by an earthquake for Southern Finland), Imatran Voima Oy, Rakennussuunnitteluosasto, 1985.
- [4] Puttonen J, Varpasuo P. Seismic Hazard at Loviisa Plant Site. Imatran Voima Oy; 1990.
- [5] Varpasuo P. The Estimation of Seismic Hazard and Ground Motion for Southern Finland. Proc Int. Symp. Vib. Prot. Constr., Leningrad: 1984.
- [6] Varpasuo P, Puttonen J. The Seismic Hazard Study for Southern Finland. SMiRT 8 Trans., 1985.
- [7] Saari J, Heikkinen P, Varpasuo P, Malm M, Turunen E, Karkkulainen K, et al. Estimation of Seismic Hazard in Territory of Finland. ÅF-Consult; 2009.
- [8] Korja, A., Kosonen, E. (eds), Evaluating seismic hazard for the Hanhikivi nuclear power plant site, part 2. Seismotectonic framework and seismic source area models in Fennoscandia, northern Europe, S-61, Institute of Seismology, University of Helsinki, Finland, 2014
- [9] Varpasuo P, Nikkari Y, van Gelder P. Ground Motion Attenuation Uncertainties for Intraplate Earthquakes with an Application to Southern Finland. Pap. Be Present. ESREL99, TUM Munich, Garching: 1999.
- [10] IAEA. Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants. 2002.
- [11] YVL B.7. Provisions for internal and external hazards at a nuclear facility. vol. YVL B.7. 2013.

- [12] Malm M, Saari J. SESA, Subproject 1 - Earthquake Hazard Assessment, Progress Report 2014. ÅF-Consult Ltd; 2014.
- [13] Fülöp L, Jussila V, Malm M, Tiira T, Saari J, Li Y, et al. Seismic Safety of Nuclear Power Plants - Targets for Research and Education (SESA) – Final Report. SAFIR2014 Finn. Res. Programme Nucl. Power Plant Saf. 2011-2014 Final Rep., Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland; 2015, p. 604–19.
- [14] Fülöp L, Jussila V, Lund B, Fälth B, Voss P, Puttonen J, et al. Modelling as a tool to augment ground motion data in regions of diffuse seismicity - Progress 2015. NKS Nordic Nuclear Safety Research; 2016.
- [15] Gioncu V, Mazzolani FM. Earthquake engineering for structural design. London ; New York: Spon Press; 2011.
- [16] Vuorinen T. New Fennoscandian Ground Motion Characterization Models. MSc thesis. University of Helsinki, 2015.
- [17] Fälth B, Hökmark H, Lund B, Mai PM, Roberts R, Munier R. Simulating Earthquake Rupture and Off Fault Fracture Response: Application to the Safety Assessment of the Swedish Nuclear Waste Repository. Bull Seismol Soc Am 2015;105:134–51. doi:10.1785/0120140090.
- [18] Ambraseys, N., Smit, P., Sigbjornsson, R., Suhadolc, P. and Margaris, B. (2002), Internet-Site for European Strong-Motion Data, European Commission, Research-Directorate General, Environment and Climate Programme.
- [19] Douglas, J., 2003. Earthquake ground motion estimation using strong-motion records: a review of equations for the estimation of peak ground acceleration and response spectral ordinates. Earth-Science Reviews 61, 43–104. doi:10.1016/S0012-8252(02)00112-5
- [20] Itasca. 3DEC – 3-Dimensional Distinct Element Code, User's Guide. Minneapolis, USA: Itasca Consulting Group Inc.; 2013.
- [21] Leonard M. Earthquake Fault Scaling: Self-Consistent Relating of Rupture Length, Width, Average Displacement, and Moment Release. Bull Seismol Soc Am 2010;100:1971–88. doi:10.1785/0120090189.
- [22] Okko, O., Front, K., Anttila, P., 2003. Low-angle fracture zones in rapakivi granite at Hästholmen, southern Finland. Engineering Geology 69, 171–191. doi:10.1016/S0013-7952(02)00281-8
- [23] Stein S, Wysession M. An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure. Malden, MA: Blackwell Pub; 2003.
- [24] Olson AH, Orcutt JA, Frazier GA. The discrete wavenumber/finite element method for synthetic seismograms. Geophys J Int 1984;77:421–60. doi:10.1111/j.1365-246X.1984.tb01942.x.
- [25] Bolt BA, editor. Seismic strong motion synthetics. Orlando, Fla: Academic Press; 1987.
- [26] Spudich P, Xu L. 85.14 Software for calculating earthquake ground motions from finite faults in vertically varying media. In: William H.K. Lee HK Paul C Jennings and Carl Kisslinger, editor. Int. Geophys., vol. 81, Part B, Academic Press; 2003, p. 1633–4.
- [27] Spudich P, Xu L. Documentation of software package ISOSYN v3.11: Isochrone integration programs for earthquake ground motion calculation. CD3 Accompanying Int. Handb. Earthq. Eng. Seismol., 2003.

Authors



M.Sc. (Tech.) Vilho Jussila

VTT Technical Research Centre of Finland LTD
Research Scientist
Ship and arctic technology
vilho.jussila@vtt.fi



Dr. Ludovic Fülöp

VTT Technical Research Centre of Finland LTD
Principal Scientist
Infrastructure health
ludovic.fulop@vtt.fi

Fil. Lic. Billy Fälth
Uppsala University/Clay
Technology AB
bf@claytech.se

Dr. Björn Lund
Associate Professor
Department of Earth
Sciences
Uppsala University
bjorn.lund@geo.uu.se

Dr. Jouni Saari
Åf-Consult LTD
jouni.saari@afconsult.
com

Dr. Peter Voss
Researcher
Geological Survey of
Denmark and Greenland
pv@geus.dk

Dr. Jari Puttonen
Aalto University
Professor
Department of Civil
Engineering
jari.puttonen@aalto.fi

Doctoral dissertation: Monte Carlo methodologies for neutron streaming in diffusion calculations

Eric Dorval

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

Reactor core simulations are of paramount importance for nuclear safety. Detailed full core systems pose enormous challenges from the point of view of computational modeling. Over the years, deterministic neutron transport techniques have been used, which provide a good trade-off between calculation burden and accuracy of the solutions. The pursuit for higher accuracy, in combination with more complex fuel and innovative reactor designs, is increasingly shifting the attention towards stochastic techniques. The focal point of the thesis is the performance of the Monte Carlo code Serpent 2 when applied to generation of multi-group neutron diffusion coefficients and leakage corrections.

Ydinturvallisuuden kannalta on erittäin tärkeää kyetä simuloimaan reaktorisydämiä. Laskennallisen mallinnuksen näkökulmasta reaktorisydämien yksityiskohtainen mallintaminen on huomattavan haastavaa. Perinteisesti laskennassa on käytetty hyvän laskenta-aika – tarkkuus -suhteen tarjoavia deterministisiä neutronikuljetusmenetelmiä. Monimutkaisempien polttoaineiden ja innovatiivisten reaktorimallien vuoksi paremman tarkkuuden tarjoavat stokastiset menetelmät ovat saaneet yhä enemmän huomiota. Väitöstyön keskeinen osa onkin Monte Carlo -koodi Serpent 2:n suorituskyvyn parantaminen moniryhmädiffuusiovakioiden luomisessa ja vuotokorjauksissa.

Simulations of neutron transport phenomena (or “neutronics”) in light water reactors (LWRs) have reached a high degree of maturity thanks to the adoption of the so-called two-step approach. In the first step, a deterministic heterogeneous cell calculation provides homogenized cross section (XS) data. This step is then followed by a deterministic core calculation attained by diffusion theory in two energy groups.

The Monte Carlo (MC) method applied to neutron transport is a different paradigm that can provide, in principle, results which are as accurate as the basic nuclear data used. This is possible thanks to the use of the best available physics models, with virtually no approximations. Although MC is very well suited for parallel computations, the stochastic nature of the simulation requires long running times to bring down statistical uncertainties to benchmark-quality levels.

A more efficient way of tackling the reactor core neutronics problem resorts to a modified two-step approach where the first step (the cell calculation) is carried by the Serpent 2 Monte Carlo code [1], followed by multi-group diffusion calculations. A clear advantage of this method is that Serpent 2 can also provide a full-core solution, using the same

geometry and basic nuclear data, so we can quantify the amount of error introduced by the two-step approach. Furthermore, Serpent can handle LWR designs, but is not limited to this technology.

Directional diffusion coefficients

Several diffusion coefficient models, mainly targeted at deterministic solvers, were adapted to MC codes. In the thesis, a new formalism was proposed that can provide directional estimates of the diffusion coefficients. When applied to a sodium-cooled fast reactor (SFR) system, the new formalism yields improvements over the use of standard (isotropic) diffusion coefficients and discontinuity factors, as can be seen in Figure 1. It is important to highlight that diffusion calculations were carried using 24 energy groups, and discontinuity factors were generated in a 3-D configuration, taking axial leakage into account. The capabilities needed for this task are far from the ones usually required by LWR calculations. Moreover, the use of discontinuity factors in fast reactor environments can be prone to numerical instabilities.

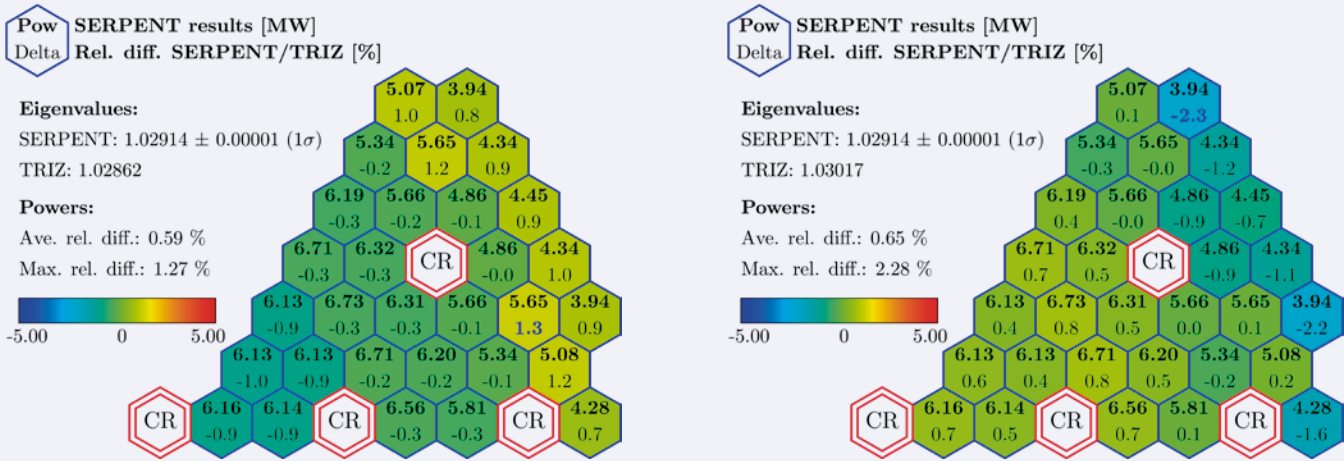


Figure 1. Eigenvalue and assembly power comparison between full core Serpent 2 results and the two-step approach. Diffusion calculations were performed with the multi-group code TRIZ [2]. Left: using directional diffusion coefficients. Right: using standard diffusion coefficients and discontinuity factors [3].

Additional studies indicated that the new diffusion coefficient formalism is not expected to yield equivalence in LWR applications, although a work presented after this thesis [4] suggests that the agreement with reference data can be comparable to that one supplied by the adoption of discontinuity factors. In CANDU reactors, the new method showed improvements along the direction of the fuel channel, but the presence of cluster geometry deteriorated the radial diffusion coefficients performance. It was found, too, that in CANDU problems the effect of refining the energy grid from 2 to 8 energy groups had a more remarkable effect than the diffusion coefficient model. This reinforces the need for more modern lattice and diffusion solvers that can work on arbitrary multi-group structures.

Leakage models

The neutron energy spectrum in a cell calculation will generally be different from the one at core level, and this may have an effect on the quality of the homogenized XS data. Traditionally, most deterministic solvers resorted to homogeneous B_1 equations [5] in order to account for leakage effects. In addition to this leakage method, Serpent 2 also features a more advanced, heterogeneous *albedo* iteration routine. This thesis introduces a third, innovative heterogeneous model based on the concept of *layer expansion*. This method exploits the unique capability of Monte Carlo transport to track individual particles, and relies on a simple concept: by updating three special indexes when a neutron reaches reflective boundaries, the trajectory of that neutron in a periodic system can be reconstructed and weight modifications be applied. This methodology supplies new information about the space-energy coupling of the scalar neutron flux.

The layer expansion method has small CPU and memory footprints when compared against albedo iterations, and can yield important

insights on how far neutrons born in a given assembly can travel. The energy-dependent neutron exchange is characteristic of every fuel design, and reveals the neutronic coupling of an assembly with its surrounding neighbours, as portrayed in Figure 2.

The spatial flux distributions in Figure 2 put in evidence dissimilar modes for the fast and thermal groups: in this type of cells, the fast group flux in a given assembly is mostly due to fission neutrons born therein, whereas the thermal flux is highly influenced by the neighbouring assemblies. Dissimilar flux modes are an indication that the energy-space separability of the scalar neutron flux (a pre-requisite of the homogeneous B_1 method) is not well met.

The albedo iterations and layer expansion leakage models not only correct spectral effects on homogenized XS data, but can also provide the net currents to be used in the computation of more accurate leakage-corrected discontinuity factors for nodal diffusion solvers.

Beyond the importance of studying new diffusion coefficient and leakage models on various types of reactor cells, the thesis highlighted the versatility of Serpent 2, which can handle fuel lattice as well as full core calculations. Advanced fuel and reactor designs will continue to drive the need for combined Monte Carlo and diffusion solvers that can tackle the complexity posed by high degrees of heterogeneity and energy resolution beyond two energy groups.

The doctoral dissertation was defended at Aalto University School of Science on 18 May 2016. Senior Lecturer Eugene Shwageraus from the University of Cambridge (UK) acted as opponent. The thesis supervisor and advisor were, respectively, Professor Filip Tuomisto (Aalto) and Adjunct Professor Jaakko Leppänen (VTT). The work was funded by the YTERA Doctoral Programme for Nuclear Engineering and Radiochemistry.

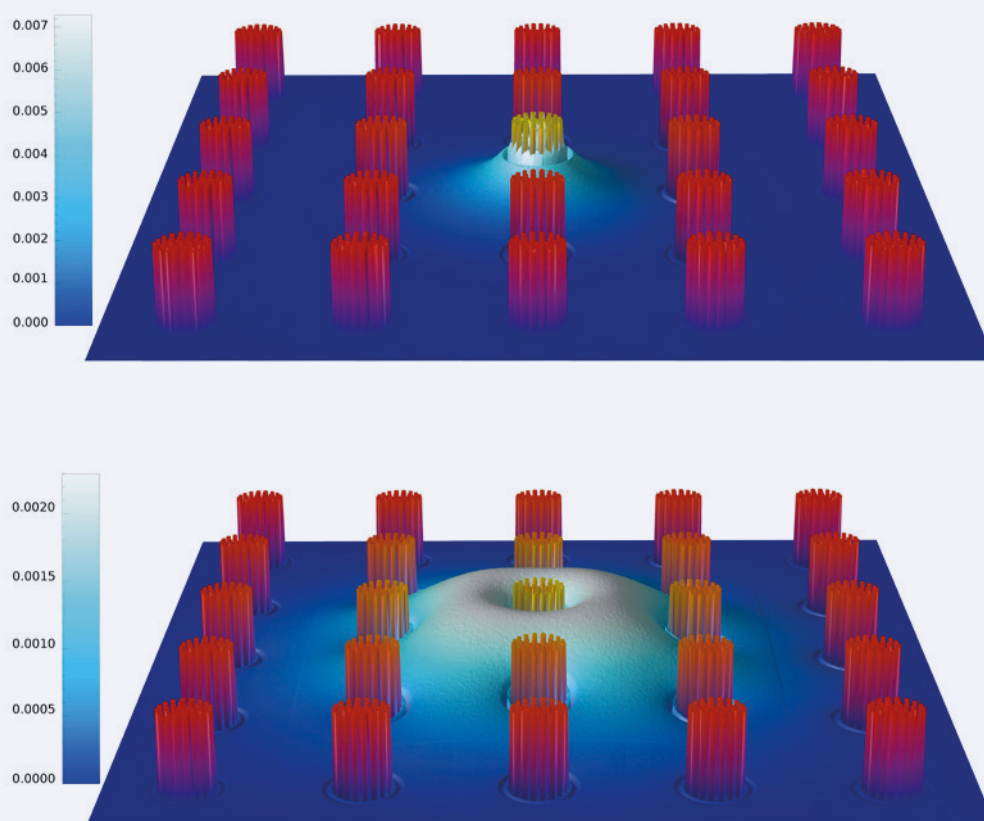


Figure 2. Expanded scalar neutron flux (blue tones) and fission rates (from red to yellow tones) in a single CANDU cell [6]. Top: fast energy group. Bottom: thermal group. Fission neutrons are born in the central assembly.

References

- [1] Leppänen, J., Pusa, M., Viitanen, T., Valtavirta, V., Kalliaisena, T. "The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013." *Ann. Nucl. Energy* 82 (2015), 142–150.
- [2] Dorval, E. "TRIZ: multi-group neutron diffusion in triangular-Z geometry." Version 1.0. Tech. Rep. FF-2014-01. Aalto University School of Science (2014).
- [3] Dorval, E. "Directional diffusion coefficients and leakage-corrected discontinuity factors: Implementation in Serpent and tests." *Ann. Nucl. Energy* 78 (2016), 101–112.
- [4] Dorval, E. "An overview of assembly leakage models in Serpent 2." 26th AER symposium, Serpent Workshop, Helsinki (2016).
- [5] Stamm'ler, R., Abbate, M. "Methods of Steady-State Reactor Physics in Nuclear Design." Academic Press (1983).
- [6] Dorval, E. "A comparative study of leakage and diffusion coefficient models for few-group cross section generation with the Monte Carlo method." *Ann. Nucl. Energy* 90 (2016), 353–363.

Writer



Eric Dorval, D.Sc. (Tech.)

Senior Scientist

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

eric.dorval@vtt.fi

Energiapolitiikan savusumua – meillä ja maailmalla

SEITSEMÄN VUOTTA SITTEEN poliitikot loivat kevyet mullat Fortumin Loviisan kolmosyksikön päälle. Poliittinen tahto punnersi ydinvoimaluvat kahdelle ydinvoimalaitoshankkeelle, joista toinen ei koskaan toteutunut ja toisenkin aikataulu venyy ja venyy. Fortum varmaan hautasi hankkeensa syväälle turhien ja tuottamattomien hommien holveihin. Loviisasta Helsinkiin tulevan kaukolämpötunnelin hinta on arvioitu monia kertoja ja hanke olisi kannattava jopa nykyisten Loviisan yksiköiden hukkalämpöä kierrättämällä. Sen sijaan Helsinki ei rakenna edes konventionaalista kaasun ja lämmön yhteistuotantoon pystyvää laitosta, vaan tehottomasti vain sähköä tai lämpöä tuottavia yksiköitä. Voiko tästä oppia muuta kuin sen, että energiapolitiikka ja terve järki eivät kuulu yhteen?

Politiikkaan ei muutenkaan kuulu järki ja rehellisyys. Uusien akselivaltioiden johtajat Putler ja Trumpolini noudattavat vanhoja 1930-luvun vahvan populistijohtajan malleja. Vallan saatuaan johtaja vaikenee totuudesta, keksii loputtomasti syytöksiä vastustajista tai sopivista syntipukeista ja levittää omaa vaihtoehtoista totuutta. Asiaa auttaa myös toimittajien vaintaminen ja eri mieltä olevien erottaminen viroistaan. Sopuli- ja lammasslaumoja on sitten helppo johtaa!

Useissa Euroopan maissa ollaan siirtymässä ydinvoimalaitosten sulkemiseen ja alasajoon. Muutamissa maissa on havaittu uusi ilmiö – käytetty polttoaine seisoo suljetussa reaktorissa, koska laitoksen sulkemisen lupakäsittely on hidasta. Hidastelua käytetyn polttoaineen

saamisessa helpommin turvattavaan väli-varastoon on mahdollon perustella turvallisuussyillä tai jo vuosia käytetyn laitoksen rakenteiden uutuudella ja monimutkaisuudella. Papereita pyörittävä ja lukuisia käytöstäpoiston tutkimushankkeita perustava viranomaisen, paperivuorista rahastavat tutkimuslaitokset sekä työnsä menettävä laitoksen henkilökunta vaikuttavat kaikki osallistuvan hidasteluun rahasammon purkamisessa.

Euroopan rikkaimpien valtioiden voimakas tuki uusiutuvalle energialle näyttää siirtävän verokarhun kasaamat tukirahat niistä kilpaileville ekosähköön tuottajille ja säästäjille sekä johtavan ydinvoimaosaamisen alasajoon Euroopassa. Sähkön tarve kasvaa kuitenkin yhä hiukan kehittyneissä teollisuusmaissa, ja kasvu on erittäin nopeaa Aasian kehittyneissä maissa. Kiinan hamstrattua uraanivarat ja monopolisoitua ydinvoiman rakentamisen osaaminen, on tulevaisuudessa Euroopan ydinvoiman kannattavuusarviot laskettava uudelleen. Kiinan rooli taloudessa ja ydinvoiman osaamisessa kasvaa koko ajan. Kiina kauppa omia ydinvoimalaitoksiaan Argentiinaan ja kohtaa myös Eurooppaan – hetken päästä eurooppalaisten ydinvoimayhtiöiden mahdollisuus liittoutua korealaisten ydinvoimarakentajien kanssa on menetetty. Viime vuosikymmeninä Eurooppaan yrittivät myös japanilaiset rakentajayhtiöt. Mutta ne luovuttivat tarjouskilpailun usein jo suolanheiton jälkeiseen kyykkikumarrukseen, ilman varsinaista sumopainia laitoksen hinnasta. Viime aikoina japanilaiset ydinvoimayhtiöt ovat keskittyneet kotimaan laitosten korjauksiin.

Olkiluoto 3 – suomalaista sisua jo vuosikymmenen ajan (kuva: TVO).



Ydinvoimaprojektien hinnat Euroopassa kasvavat koko ajan. Valvovat viranomaiset ja lehdistö keskustelevat rakentamisaikojen ja hintojen kasvun syistä, mutta omistajayhtiöt eivät itse arvioi syitä tai ainakaan opi niistä. Aina aloitettaessa ydinvoimaprojekti tai muu suuri projekti omistajan tarvitsemat henkilöresurssit typerästi aliarvioidaan, ja heti perään projektin talousjohto puolittaa resurssit arvioidustakin tarpeesta. Sitten aikanaan ihmetellään projektin juuttuessa loputtomiin muutoksiin ja loppuhinnan ja projektin keston kolminkertaistuessa. Kiinalaiset yleensä onnistuvat projektiensa aikatauluissa ja kustannuksissa, koska he ovat varanneet riittävästi tekijöitä ja heillä on tarvittaessa rajattomat reservit. Länsimaisten voimayhtiöiden taloussäästäjien toilailua katsellessa kertaantuu mieleen talousmiehen ja miehen välinen ero, joka on sama kuin talousnakin ja nakin: ilman taloutta sisältö on laadukkaampi. Täytyy toivoa kaikkien uusissa hankkeis-



sa painivien esim. Fennovoiman kavereiden katsooneen Imapran Voiman Loviisan laitoksen historiasta kertovan vanhan videon, jonka alkumetreillä sanotaan: "Betonin laatu oli ongelma ja siksi Imapran Voima perusti betonilaboratorion". Toivotaan heidän myös lukeneen ja ymmärtäneen jenkien NUREG-1055 raportin: Improving Quality and the Assurance of Quality in the Design and Construction of Nuclear Power Plants: A Report to Congress, 1984.

Huomautus:

[Kirjoittaja pahoittelee asiaviitettä ja asiatonta vieraan kielen käyttöä tässä perjantaiviskin tai -konjakin kanssa luettavassa kevyessä tekstissä.](#)

Turvallisuutta valvovat viranomaiset ovat monissa maissa kirjoittaneet säännöksiä, joiden kuvaamaa ydinvoimalaitosta ei todellisuudessa voi suunnitella ja rakentaa. Näillä säännöksillä on tosi haastavaa tehdä kattava "avaimet käteen" -laitossopimus, joka lupaa toimittajan täyttävän kaikki vaatimukset. Miljardien sopimusriidan ainekset ovat padassa ja lainoppineet kokit hierovat käsiään. Näin päädytään sitten kunnon sopimusriitoihin ja rakentajayhtiö muuttuu "roskapankiksi" – kuulostaako tutulta myös Suomessa. Itse ydinlaitos on sitten tosi turvallinen, kun sitä ei koskaan käynnistetä. Toinen projektiongelma on parhaiden resurssien suuntaminen turvallisuusperiaatteiden suunnittelun sijasta "riippumattomiin" turvallisuuden tarkastuksiin työn valmistuttua. Tarkastaminen ei oikeasti lisää turvallisuutta ja paranna työn tulosta vaan työn tekeminen laadukkaasti. Työtä on vaikea aloittaa alusta, jos tarkastettaessa

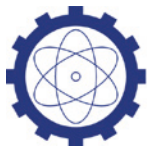
havaitaan iso periaatevirhe. Jos tarkastuksiin varataan enemmän resursseja kuin asian tekemiseen ei homma toimi. Kansanviisaus sanoo: "Ei työ tarkastamalla parane vaan tekeillä" ja "herroille ja hulluille ei pidä näyttää keskeneräistä työtä". Kolmas viisaus on se, että "minkä riippumattomuudessa voittaa sen asiantuntemuksessa häviää".

Olkiluoto 3 näyttää ottavan ensi askeleensa ensi vuonna, mikä on aivan todella loistava uutinen kaikille ydinvoiman parissa työskenteleville. Toivotaan, ettei hankkeessa koeta enää uusia pettymyksiä. Arvostelua kohdassa Jounin ja muiden Eurajoen hankkeen tekijöiden kannattaa tukeutua vanhaan savolaiseen viisauteen: "Ne tekköo jotka ossoo, jotka ei ossoo ne arvostelloo."

Ydininsinööri

Palautusosoite:

Suomen Atomiteknillinen Seura
PL 78
02151 ESPOO



ATS

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

KANNATUSJÄSENET

B+Tech Oy

**Pohjoismainen
Ydinvaruutuspooli**

**Teknologian
tutkimuskeskus VTT Oy**

Fennovoima Oy

Pohjolan Voima Oy

Teollisuuden Voima Oyj

FinNuclear ry

Posiva Oy

TVO Nuclear Services Oy

**Fortum Power
and Heat Oy**

Saario & Riekkola Oy

Voimaosakeyhtiö SF Oy

Platom Oy

Siemens Osakeyhtiö

Wärtsilä Finland Oy