

ATS

1|2016

Vol. 45

YDINTEKNIikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

Onko ydinenergialla tilaa tulevaisuuden energiajärjestelmässä?

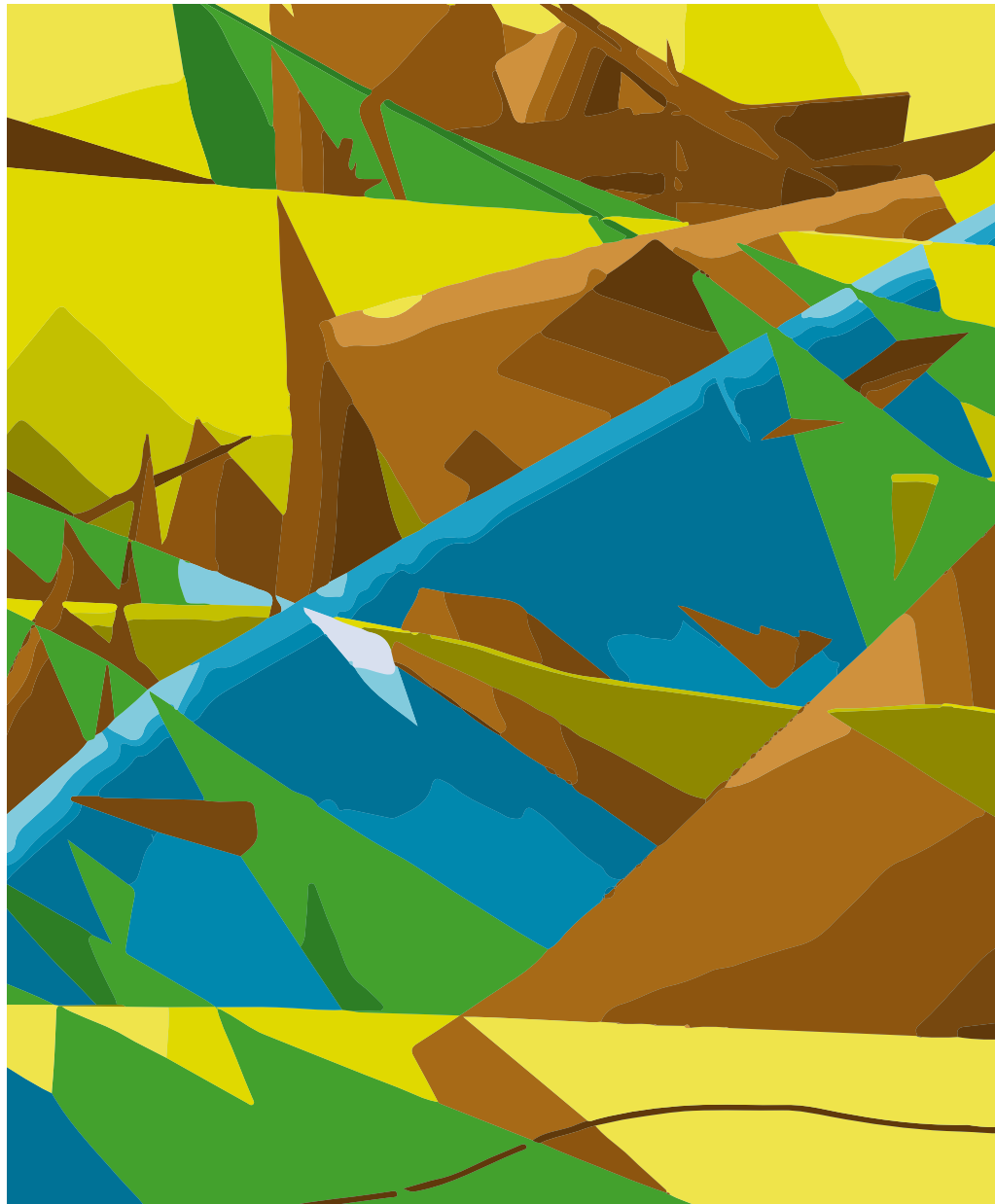
Vastausta kysymykseen pohdittiin Energiforskin seminaarissa Tukholmassa.

Janne Mokaan haastattelu

Toimitusjohtaja kertoo omin sanoin Posivan toiminnasta, menneestä, nykyisyydestä ja suunnitellusta tulevast.

Ydinjätteen geologisen loppusijoituksen toteutus lähenee

Suomen johtava rooli on osittain tulosta myös vuosikymmenten monimuotoisesta kansainvälisestä yhteistyöstä.



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

DI Henri Loukusa
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

FM Niina Miettinen
niina.miettinen@fennovoima.fi

Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

DI Henri Ormus
henri.ormus@fennovoima.fi

Energiakanava / Energy Channel, WiN Finland

TkT Liisa Heikinheimo
liisa.heikinheimo@tvo.fi

www.vastaava / Webmaster

TkT Heikki Suikkanen
webmaster@ats-fns.fi

ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkL Eero Patrakka
eero.patrakka@kolumbus.fi

Toimitus / Editors

Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

DI Anna Nieminen
anna.nieminen@vtt.fi

Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

TkT Liisa Heikinheimo
liisa.heikinheimo@tvo.fi

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 Eveliina Takasuo
eveliina.takasuo@vtt.fi

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

DI Risto Vanhanen
risto.vanhanen@iki.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 pidättää itsellään oikeuden lyhentää, tiivistää ja muokata julkaistavaksi tarkoitettuja artikkeleja ja kirjoituksia.

Suomalainen mielenlaatu ja ATS:n juhlavuosi

OMAN ITSENSÄ ja osaamisensa markkinointi koetaan tyypillisesti Suomes- sa vähintäänkin haastavaksi. Ajatus- maailmaamme on liian vahvasti pureutunut vaatimattomuus hyveenä. Toki vaatimattomuuden rinnalle usein nostetaan tunnollisuus ja rehellisyys: ominaisuudet joiden ansiosta näkemyksiämme ja osaamistamme arvostetaan myös maailmalla. Kansainvälisyys onkin yhä useammin elinehto, mutta kansainvälisillä markkinoilla ei pärjää ilman itsevarmuutta.

Olemme pieni maa ja resurssimme ovat rajalliset. Ominaisuutemme tekevät meistä kuitenkin erinomaisen asiantuntijakansan ja meidän tulisi olla ylpeitä omasta osaamisestamme. Virheistä toki opitaan, mutta voisimmeko me korostaa enemmän onnistumisia antaen myös niistä palautetta herkemmin? Tervettä itsetuntoa rakennetaan positiivisen palautteen kautta.

Onnistumisen voi määritellä vertaamalla tuloksia tavoitteisiin. Päämäärä saavutetaan asettamalla toisaalta realistiset ja toisaalta tarpeeksi kunnianhimoiset tavoitteet. Näiden kahden tekijän tulisi olla tasapainossa parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Vaatii rohkeutta asettaa tavoitteet tarpeeksi korkealle; tämä ei yleensä istu vaatimattomuuden hyveeseemme.

Suomen Atomiteknillinen Seura täyttää tänä vuonna kunnioitettavat 50 vuotta. Juhlavuosi tulee näkymään ATS Ydintekniikassa jopa kahdessa numerossa. Lehti 2/2016 on juhlanumero ATS:n jäsenille, missä seura on itse-oikeutetusti pääosassa. Lehdessä esitellään ATS:n 50-vuotista taivalta ja samalla luodaan katse tulevaisuuteen toimintaryhmien ja toimikuntien silmin. Jotta osaisi määrittää tulevaisuudelle tavoitteet, jotka ovat sekä realistisia



että tarpeeksi kunnianhimoisia, on tunnettava myös historia.

Numero 3/2016 on virallinen iso juhlanumero, jota jaetaan laajemmin myös seuran ulkopuolelle. Tässä lehdessä keskitytään ydintekniikan menestystarinoihin: ollaan häpeilemättä ylpeitä omasta osaamisestamme sekä korostetaan onnistumisia. Juhlavuotta itsessään voi myös pitää yhtenä etappina suomalaisen ydintekniikan menestystarinassa.

Anna Nieminen

Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Suomalainen mielenlaatu ja ATS:n juhlavuosi.....	3
Pääkirjoitus: Kansainvälisen toiminnan merkitys tutkimukselle.....	4
Editorial: Importance of international co-operation in research.....	5
Pakina: Voiko turvallisuus olla riittävää – Tarkastelua ydinennergialan näkökulmasta.....	39

Tapahtumat

Säteilysuojeluyhteistyötä Oulussa.....	6
Onko ydinennergiantuotannolle tilaa tulevaisuuden energiajärjestelmässä – Energiforskin seminaari Tukholmassa.....	8
Jäsenistö äänesti sääntömuutosta vastaan ensimmäisessä käsittelyssä.....	10
Kallioperän rikkonaisuuden mallinnus Suomessa.....	12

Ajankohtaista

Systeeminen turvallisuusjohtaminen.....	15
Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus Suomessa turvallisuusviranomaisen näkökulmasta.....	18
Posivalainen loppusijoitusratkaisu.....	22

Tiede ja tekniikka

The Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform (IGD-TP) Main achievements in 2015 and way forward.....	26
<i>Mrs. Monica Hammarström, Mr. Jacques Delay, Dr. Raymond Kowe</i>	
Diplomityö: Arosin moniryhmänodaalidiffrusio- mallin kehittäminen ja validointi.....	30
<i>DI Antti Rintala</i>	

Recent Research and Technology Highlights for Finnish Implementation of Geological Disposal of Radioactive Waste.....	32
---	----

Dr. Erika Holt, Dr. Markus Olin, M.Sc. (Tech.) Tiina Jalonen

Väitös:

Ydinpolttoaineen käyttäytyminen ja suojaakuoren viskoelastinen vaste.....	36
<i>TkT Ville Tulkki</i>	

Diplomityö:

Integroitu simulointiavusteinen suunnittelu Apros-ohjelmistolla.....	38
<i>DI Niklas Paganus</i>	

Kansainvälisen toiminnan merkitys tutkimukselle



JUHLAPUHEISSA KOROSTAMME kansainvälisen yhteistyön merkitystä, mutta käytännössä kun on tarve karsia tutkimuksen rahoitusta, kansainvälinen yhteistyö on usein se ensimmäinen kohde. Onko tämä viisasta pitkällä tähtäimellä?

Ydinalan kansainvälinen tutkimusyhteistyön paletti on runsas ulottuen kansainvälisten organisaatioiden (IAEA, OECD/NEA, EU, SNETP, NUGENIA, IGD-TP) ja sopimusten tasolta kahdenvälisen yhteistyön kautta aina ruohonjuuritasolle, jolla luodut yhteydet voivat kuitenkin olla perustana merkittäville myöhemmälle yhteistyölle.

Yhteistyöllä on tarkoitus saada aikaan jotain enemmän tai jotain parempaa kuin mihin itse yksin pystyisimme. Suomen kaltaiselle pienelle maalle kansainvälinen tutkimusyhteistyö on välttämättömyys. Pienenä toimijana, sekä valtiona että yksittäisinä organisaatioina, olemme usein mukana pysyäksemme ”kärryillä” tietyn aihepiirin kansainvälisen kehityksen kärjestä tai sinne kärkeen päästäksemme, mutta joissakin tapauksissa pysyäksemme itse sinä kärkeenä myös jatkossa.

IAEA-yhteistyömme rajoittuu kansainväliin kokouksiin ja muutamiin työryhmiin ja komiteoihin osallistumiseen. IAEA:n varsinaisiin tutkimusprojekteihin, Coordinated Research

Projects (CRP), emme ole juurikaan osallistuneet. Jotkut muut kaltaisemme taikka varakkaammat maat käyttävät näitä hankkeita tehokkaasti hyväkseen luodessaan suhteita kehittyvien maiden tutkimusorganisaatioihin ja päätöksentekijöihin. Osallistuminen OECD/NEA:n suuriin koehankkeisiin kansallisen ydinturvallisuuden tutkimusohjelman kautta on ja on ollut toimiva ratkaisu. Vastaavalla tavalla osallistumme muutamaan US NRC:n ohjelmaan.

Osallistumisemme Euratomin FP7- ja H2020-tutkimushankkeisiin on ainakin kotiohjelmaamme VTT:n kannalta volyymitään merkittävin monenkeskisen kansainvälisen yhteistyön muoto sekä fuusion että fission osalta. Roolimme hankkeissa ulottuu koordinaattorina toimimisesta tuohon pienellä panoksella tapahtuvaan osallistumiseen ns. kärryillä pysymisen ja nuorison koulutuksen kautta.

Kansainvälisten organisaatioiden, kuten Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP) ja sen pilareiden NUGENIA, ESNI ja NC2I sekä ydinjätepuolella IGD-TP:n, merkitys kansainvälisen tutkimuksen suuntaamisessa on merkittävä. Siksi on tärkeää olla mukana olla tuossa ylätason yhteistyössä, jos halutaan vaikuttaa siihen, mihin suuntaan

kelkkaa tai venettä käännetään. Käytännön tasolla NUGENIAN Open Innovation Platform on osoittautunut toimivaksi uusien EU-hakuihin lähteneiden tutkimushankkeiden hautomoksi.

Kahdenvälisessä yhteistyössä VTT:n kannalta merkittävin on osallistumisemme Suomen edustajana Jules Horowitz -tutkimusreaktorihankkeeseen sekä työtä tekeväällä että merkittävällä VTT:n ja muiden kotimaisten osapuolten rahoituksen kautta. Pohjoismainen tutkimusyhteistyö on alallamme nykyisin paljolti kahdenvälisestä yhteistyöstä Suomen ja Ruotsin kesken muun muassa NKS-tutkimusprojektien kautta. Kahden voimayhtiömme yhteydet Venäjään ovat vankat valittujen laitosteknologioiden kautta. Sen sijaan tutkimusyhteistyömme Venäjän kanssa on tällä hetkellä melkein olematonta, ja yhteydet kulkevat AER-yhteisön taikka European TSO Networkin (ETSON) kautta.

Uudet ydinvoimamaat tai sellaisiksi aikoivat ovat kiinnostuneita sekä kahdenvälisestä että laajemmasta yhteistyöstä ja halukkaita yhteistyöpartnereita heille tunkee ”ovista ja ikkunoista” kaikista ydinvoimalaitoksista nykyisin markkinoivista ja useista ydinvoimaa pitkään käyttäneistä maista. Silti tuntuu, että meillä olisi tässä yhteistyössä oma roolimme kolmantena, laitostoimittajista riippumattomana osapuolena.

Mitä siis ottaa ja mitä jättää tästä kansainvälisen toiminnan laajasta paletista? Jokainen toimija vastannee omien tarpeidensa mukaan. Nykyinen kansainvälinen tutkimusyhteistyömme on varsin Eurooppa-keskeistä, mutta ydinalan maailma ei lopu Euroopan reunaan, vaan nykyisin pikemminkin alkaa sen takaa. Siksi meidänkin olisi, niukkenevistä resursseistamme huolimatta, kyettävä katsomaan myös kauemmas. Ja kokemus osoittaa, että vähän näkyvämpi pieni yksikkö meistä muodostuu aina kansainvälisellä areenalla kansallisesti hyvin yhteen pelaamalla.

Eija Karita Puska

Johtava erikoistutkija
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
eija-karita.puska@vtt.fi

Importance of international co-operation in research

IN BANQUET ADDRESSES we emphasize the importance of international co-operation, but when we have to cut the funding for research, international co-operation is often the first target. However, one may ask whether this is wise in the long run.

The spectrum of international co-operation in nuclear research is wide ranging from the level of international organisations (IAEA, OECD/NEA, EU, SNETP, NUGENIA, IGD-TP) and agreements via bilateral co-operation down to the grass-roots level, which may be the basis for a substantial co-operation in the future.

The purpose of co-operation is to accomplish something more or something better than one would be able to accomplish alone. For Finland as a small country, the international co-operation in research is a must. Being small, either as a country or as a single organisation, means often that we have to participate in international activities in order to know what is going on at the top level in some research area or to get to the top level. However, sometimes the driving reason is to keep our position as the international top of a discipline also in the future.

Our co-operation with IAEA is restricted to participation in international meetings and some committees and work groups. We have not participated practically at all in the IAEA Coordinated Research projects. One should notice that some other countries similar or wealthier than Finland utilise this potential effectively for creation of contacts with the research organisations and decision makers of the embarking countries.

Participating to the OECD/NEA large experimental research projects via our national research programme on reactor safety has proven to be a working solution. We participate in similar manner to a few US NRC projects as well.

Euratom FP7 and H2020 research projects represent at least for VTT the most important international co-operation both in fission and fusion. Our role in the projects extends from being a coordinator to being a minor contributor in order to stay abreast of the R&D and to train new experts.

International organisations, such as Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP) and its pillars NUGENIA, ESNII and NC2I have an important role in defining international research strategy and its priorities. Therefore it is important to participate in this sort of high level international co-operation if we want to make our voice audible. In practical level the NUGENIA Open Innovation Platform has proven itself as a working 'hatchery' of project ideas for the EC research calls.

For VTT the participation in the international Jules Horowitz Research Reactor project as representative of Finland is our most important bilateral co-operation project in research. We participate both via providing experimental and unique devices for the project and via the Finnish funding share together with other Finnish partners. Nordic co-operation via NKS is mostly bilateral co-operation between Finland and Sweden.

At present Finnish utilities Fortum and Fennovoima have strong contacts with Russia due to the Russian technology they have operated for decades or have selected for the future. However, our current direct co-operation with Russia in nuclear research is next to nil, and the existing contacts go via international organisations, such as the AER community or European TSO network ETSO.

Embarking nuclear countries are interested both in bilateral and multilateral co-operation. And they do have willing partners 'pushing in through doors and windows' as the Finnish saying goes. These willing partners are, of course, all current nuclear vendors and many R&D organisations from countries with long and wide experience in nuclear. Despite of that my judgement is that we, as a country and as organisations, could have important role as a third party independent from the vendors.

What to take and what to leave out of this wide spectrum of international co-operation? Each organisation may respond according to its own needs. Our current international co-operation in nuclear research is very much focused on Europe. However, the out-

er borders of Europe are not the end of the nuclear world. Rather, the focus of the nuclear world is currently beyond the borders of Europe. Therefore we should as well, despite our diminishing economic resources, be able to focus far enough. Experience shows that as Team Finland we small organisations create together a bit more visible unit.

Eija Karita Puska

Senior Principal Scientist

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

eija-karita.puska@vtt.fi



Säteilysuojeluyhteistyötä Oulussa

Säteilysuojelun pohjoismainen yhteistyötapaaminen eli Nordiskt strålskyddsmöte järjestettiin 4.–5.2. Oulussa. Tapaamisessa vaihdettiin hyviä (oppimis)kokemuksia säteilysuojelussa kuluneen vuoden ajalta ja verkostoiduttiin kollegojen kanssa. Tapaamisen kruunasi vierailu Hanhikivenniemelle katsomaan Fennovoiman työmaa-aluetta.



DI Lauri Rintala
Säteilyturvallisuusinsinööri
Fennovoima Oy
lauri.rintala@fennovoima.fi

Teksti: Lauri Rintala

KÄYTTÖKOKEMUSTEN vaihtaminen on oleellinen osa ydinvoima-alan turvallisuuskulttuuria. Isojen kansainvälisten organisaatioiden rinnalla on toiminut jo yli kaksi vuosikymmentä pohjoismainen tiedonvaihto operatiivisten säteilysuojeluorganisaatioiden välillä. Tiedonvaihtoa varten järjestetään vuosittain Nordiskt strålskyddsmöte, ja tänä vuonna se pidettiin Oulussa, jossa tilaisuutta isän-

noi Fennovoima. Tilaisuuteen osallistui noin 40 henkeä, mihin kuului edustajia pohjoismaisten ydinlaitosten toimivista säteilysuojeluorganisaatioista: Olkiluodosta, Loviisasta, Forsmarkista, Studsvikista (Studsvik ja Svafo), Oskarshamnista (OKG ja SKB), Ringhalsista, Barsebäckistä, Haldenista, Kjellerista ja Risøstä sekä Fennovoiman säteilyturvallisuusryhmä ja lisäksi joitain pienempien ydinvoima-alan toimijoiden edustajia.

Pohjoismaisessa hengessä tapaamisen kielenä toimi vaihtelevasti englanti, ruotsi tai norja suomalaisten edustajien uskaltautuessa puhumaan suomea lähinnä keskenään. Vanhan kouluruot-sin virkistäminen on toki aina piristävää muuten niin englanninkielisen työn rinnalla.

Esityksissään organisaatiot käsittelivät kuluneen vuoden säteilysuojelun tunnuslukuja eri laitoksilta, tapahtumia ja niiden puutetta sekä esimerkiksi onnistuneita suorituksia suurten huolto- tai laitosmuutostöiden säteilysuojelussa. Mukaan mahtui myös kiinnostavaa tutkimusta mm. ilmanvaihdon päästöjen mittauksen osalta. Barsebäckin edustajien esityksessä muistutettiin tiedon tallentamisen ja siirtämisen tärkeydestä sloganilla: ”Kunskap kostar, men okunskap kostar mer.” Suomessakin laitosten käytöstäpoisto lähes-tyy TRIGA etunenässä, ja on tärkeää muistaa paitsi laitoksen mahdollisimman tarkka dokumentointi myös hiljaisen tiedon eli käyttöorga-nisaation osien säilyttäminen käytön jälkeen sekä osaamisen ylläpitäminen esimerkiksi koulutuksiin käytöstäpoiston aikana.

Tutkimuslaitosten (Risø, Halden ja Kjeller) esityksissä saatiin näkökulma hieman erilai-

seen toimintaympäristöön, jossa vastaan voi tulla yllättäviä jäte-eriä aina 1950-luvulta asti. Nuvia Canada, kaupallinen toimija Kanadan ydinvoima-alalla ja tapaamisen ainut osallistu-ja pohjoismaiden ulkopuolelta, loi katsauksen ydinvoiman tilanteeseen Kanadassa, jossa uusia laitoksia ei olla rakentamassa mutta olemassa oleville isoille laitoksille tehdään suuria modernisointitöitä käyttöä pidentämiseksi.

Kokouksen lopuksi valittiin Studsvik ja Svafo isännöimään Nordiskt strålskydds-möte 2017:ää huolimatta Nuvia Canadan tarjouksesta järjestää seuraava tapaami-nen Kanadassa. Tapaamisessa keskusteltiin myös osallistujajoukon kasvattamisesta. Ensi vuonna mukaan pyydetään myös Posiva, jos-ta tuli hiljattain luvanhaltija ja joka kuului-si joukkoon yhtä lailla kuin SKB:kin. Risø:n,

Kjellerin ja Haldenin lisäksi mukaan mahtuisi myös VTT, joka on erittäin mielenkiintoisessa vaiheessa TRIGAn ja uusien kuumakammioi-den kanssa.

Seminaarinomaisen osuuden päätyt-tyä perjantaina Fennovoima kyyditsi osal-listujat tutustumaan Hanhikivenniemen laitospaikkaan, jossa työt etenevät jo laitos-paikan pintamaan poistolla ja alueiden täytöllä. Asianmukaisen suojavarustuksen (huomioliivit ja kypärät) kanssa varustautuneina innokas ryhmä tutustui Fennovoiman työmaatoimis-toon ja maisemiin työmaa-alueella.

Luonnollisesti tapaamiseen ideaan kuuluu verkostoituminen, jota toteutettiin torstaina ensin illallisella suomalaisen perinneruoan äärellä ja sen jälkeen vapaamuotoisemmin Oulun yöelämässä. Liian suurilta annoksilta kuitenkin vältyttiin, sillä kaikki olivat mukana jo aikaisiin perjantaiaamulla.

Tapaamisen lopuksi halukkaat, tässä tapauksessa kaikki kokouksen osanottajat, pääsivät tutustumaan Fennovoiman työmaan tilanteeseen Hanhikivenniemelle.



Onko ydinenergiantuotannolle tilaa tulevaisuuden energiajärjestelmässä

– Energiforskin seminaari Tukholmassa

Energiforsk piti vuosittaisen ydinenergiaseminaarinsa Tukholmassa 20. tammikuuta 2016 otsikolla "Is there a role for nuclear in the future energy system". Puhujiksi seminaariin oli kutsuttu edustava joukko asiantuntijoita ja teollisuuden edustajia. Päivä jakaantui neljään osaan, joista kirjoittaja on koonnut huomioita tähän yhteenveetoon. Esitykset on talletettu Energiforskin sivuille, www.energiforsk.se, vapaasti luettavaksi.

Teksti: Liisa Heikinheimo



TkT Liisa Heikinheimo
T&K päällikkö
Teollisuuden Voima Oyj
liisa.heikinheimo@tvo.fi

JOHDATUSTA KESKUSTELUUN viritivät Mats Nilsson Luleån yliopistosta ja Johan Bruce Swecosta. Energiamarkkinat ovat ennennäkemättömässä muutostilassa, toisaalta erilaisten uusiutuvien energiantuotantomuotojen tukien kautta ja toisaalta raskaan verotuksen takia, erityisesti Ruotsissa, samalla sähkön pörssihinta on vapunut erittäin alas eikä hinnan nousua ole näköpiirissä. Ydinenergiantuotantoa verotetaan monin perustein ja korkeat investointikustannukset syövät marginaalin jopa negatiiviseksi kun turvallisuusvaatimukset ovat kasvaneet entisestään Fukushima tapahtumien jälkeen. Elinkelpoisuuden kysymykseksi kahdessa esityksessä nousi "mer marknad eller mer reglering".

Yleinen ajatus tuntui olevan että markkinatalouden säätely liiaksi vie siltä pohjan ja talous kääntyy itseään vastaan. Uusiutuvien energiamuotojen kannattavuutta voitaisiin yksistään taata CO₂-päästömaksuilla ranskaisematta muita erilaisin keinoin. Jos taas päädyttäisiin säätelyvaltaiseen energiantuotantoon, tulisi panostaa energiantuottajien tuotantovarmuuteen riippumatta säästä tai päivän tarpeesta. Olisi rakennettava riittävän kestävä energiantuotantopaletti.

Tulevaisuuden haasteista ja mahdollisuuksista alustivat Thomas Unger, Profu, Jarkko Ahokas, Fortum ja Frank Könert, Sweco. Markkinasähkön hintaan vaikuttaa keskustelun perusteella eniten laaja taloudellinen taantuma, matala hiilen ja öljyn markkinahinta sekä tietysti tukiratkaisut. Yhtä mieltä oltiin siitä että uusiutuvan energian tuotanto tulee kasvamaan merkittävästi vuoteen 2030 mennessä ja edelleen vuoteen 2050 asti riippumatta siitä kenen laskelmia tarkastellaan. Ajureina kehitykselle ovat energia- ja ilmastopolitiikka sekä tietysti teknologian kehitys.

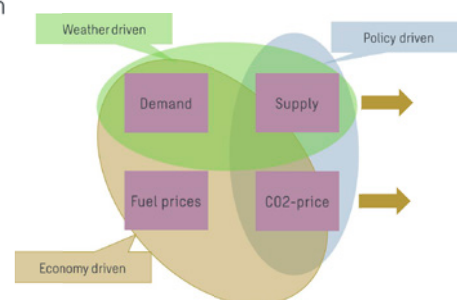
Esitysten mukaan sähkönkulutus tulee kasvamaan, mutta tuotantokapasiteetti kasvaa vielä enemmän – kulutuksen kasvun ennusteissa on kuitenkin valtavan suuri hajonta ennustajasta riippuen. Ruotsissa myös tuotantokapasiteetti tulee kasvamaan runsaasti, erityisesti tuulivoiman ennustetaan kasvavan, tämä kuitenkin edellyttää vastaavan säätövoimakapasiteetin käyttöä mikä asettaa vesivoimalle suuria vaatimuksia jos ydinvoimasta luovutaan suunnitellussa määrin.

Alkanut vuosi 2016 on ydinenergiantuotannon tärkeä vuosi, koska sähkön hinta on alle 30 äyriä/kWh ja samanaikaisesti tuotantokustannukset ovat 38 äyriä/kWh pe-

Energiamarkkinoiden jakautuminen on muuttanut uusiutuvan energiantuotannon kasvun ja erilaisten poliittisten toimenpiteiden myötä. Kuva esityksestä Nordic Electricity market situation – How we end up in this price situation, Johan Bruce, Sweco, 20.1.2016 Energiforsk seminarium, Stockholm.

Conclusions

- Fuel and CO₂ prices have been the main driver for decreasing power prices
- The financial situation has had a larger impact on power prices than policy.
- In the future however, increasing amount of RES can change the historical connection between fuel and CO₂ prices with the electricity price.



rustuen Swecon laskelmiin. Erotus vastaa ydinenergialle määrättyä tuotantoveroa. Myös kysymys ydinenergiantuotannon korvaamisesta toisella CO₂-vapaalla tuotantomuodolla on ratkaistava. Pohjoismaissa tuotetaan 15,9 TWh ydinsähköä. Fortumin Jarkko Ahokkaan laskelmien mukaan tämä voitaisiin korvata tuottamalla 24,5 GW biopolttolaitoksilla (pääoma- ja ylläpitokustannukset yhteensä 91 miljardia €). Kallein vaihtoehto olisi 15 GW tuulta ja 14 GW bioenergiaa (154 miljardia €). Ydinenergian investoinnit tulevaa tuotantoa varten vaatisivat myös suurta panostusta, mutta kustannukset jäisivät edellisiä vaihtoehtoja alemmiksi (78 miljardia €).

Aikaistetun käytöstäpoiston vaikutuksista puhuivat Maria Sunér Fleming Svensk Näringslivistä sekä Staffan Qvist ja Ane Håkansson Uppsalan yliopistosta. Maria Sunér Fleming esitti, että Ruotsissa vientiteollisuus on suurin energian tarvitsija. Teollisuustuotannosta viedään noin 85 % ulkomaille ja tämän tuotannon säilyttäminen ja kehittäminen edellyttävät vakaata ja vakaahintaista



sähköntuotantoa. Teollisuus myös vaikuttaa huomattavan tehokkaasti työllisyyteen: jokainen teollinen työpaikka luo noin 2 muuta työpaikkaa mikä lisää hyvinvointia.

Ydinvoimalaitosten sulkeminen vaikuttaa energiantuotannon lisäksi voimakkaasti CO₂-päästöihin. Staffan Qvistin mukaan Ruotsin ydinenergiaohjelma on säästänyt 2 miljardia tonnia CO₂-päästöjä tähän mennessä. Tämä tekijä olisi syytä ottaa mukaan laskettaessa energiaratkaisujen ympäristövaikutuksia, ydinenergian tuotannolla on melko varmasti vielä nykyisellään mahdollisuus säästää sama määrä CO₂-päästöissä jos toiminnan jatkumiselle on edellytykset.

Kysymys siitä mitä toimenpiteitä tarvitaan jos ydinenergiantuotantoa halutaan jatkaa ja mitä pitäisi oppia muualta tässä asiassa oli aiheista viimeisenä. Puhujina olivat Daniel Westlen, Vattenfall, Mattias Lantz, Aanlysgruppen ja Hans Henriksson, Vattenfall (esityksen piti Jonas Persson).

Pohjoismaisesta tilanteesta poiketen ydinvoimalaitoksiin investoidaan muualla maailmassa tälläkin hetkellä runsaasti: 50–60 lai-

tosta on rakenteilla, joista suurimman osuuden rakentaa Kiina (24 yksikköä). Yksi vääjäämätön keskustelunaihe tässä yhteydessä oli kuormanseuranta – onnistuuko ydinvoimalaitoksen tuotannon sopeuttaminen kysyntään päivä- tai viikkotasolla. Arvioiden mukaan tämä ajotapa lisää muuttuvia kuluja, mutta investointikustannukset ovat samat käyttövastasta riippumatta. Kuormanseuranta siis on mahdollista, mutta taloudellisuuden arviointi vaatii monipuolista analyysiä. Käyttötapaan vaikuttaa myös se, että laitoksen tehon alentaminen tarpeeseen on nopeampaa kuin sen nostaminen.

Kokonaisuudessaan seminaaripäivä oli erittäin antoisa niin ohjelman monipuolisuuden kuin sekä luennoitsijoiden välisen keskustelun että yleisökysymysten ansiosta. Energiantuotannon haasteita ei varmasti käsitelty viimeistä kertaa, mutta tässä seminaarissa oli mielestäni uudenlaisia ajatuksia mukana.

Lisätietoa saatavilla www.energiforsk.se/program/omvaerldsbevakning-kaernkraft/konferenser/ ja www.energiforsk.se/info/nyhetsbrev/.

Svensk Näringsliv esitti energiantuotannon vaikutuksia teolliseen tuotantoon ja kansantuotteen kasvuun. (Kuva: Maria Sunér Fleming)



Jäsenistö äänesti sääntömuutosta vastaan ensimmäisessä käsittelyssä

18.1. järjestettiin yhdistyksen ylimääräinen jäsenkokous, jossa käsiteltiin johtokunnan sääntömuutosehdotusta. Sääntömuutoksen puolesta äänesti kolme ja sitä vastaan 17 ATS:n jäsentä. Kaikkiaan paikalla oli vain 25 jäsentä.

Teksti: Anna Nieminen **Kuvat:** Risto Vanhanen



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

JÄSENKOKOUKSEN ALUKSI puheenjohtaja perusteli sääntömuutostarpeet. Hänen mukaansa prosessin tavoitteena on formalisoida yhdistyksen toiminnan uudistuminen ja se on myös osa henkistä kokonaisuudistusta. Puheenjohtaja koki, että ilman sääntöuudistusta johtokunnan valtuudet jatkaa toiminnan pitkäjänteistä kehittämistä ja uudelleen organisoitumista ovat heikot. ATS:n on lisäksi vastattava toimintaympäristön muutoksiin, jotka uhkaavat seuran elinvoimaisuutta. On yhä vaikeampaa saada taloudellista tukea toiminnan järjestämiseen tai löytää henkilöitä ATS:n luottamustehtäviin, joilla olisi aikaa ja innostusta kehittää toimintaa.

Osa ehdotetuista muutoksista on myös sääntöjen laatua, selkeyttä tai tarkkuutta parantavia. Näihin lukeutuu muun muassa sääntöpykälien otsikointi ja luetteloiden aakkosnumerointi kohtien yksilöimiseksi. Tämän

tyyppiset muutokset saivat kannatusta, mutta edes johtokunta ei pitänyt niitä yksinään perusteena sääntömuutokselle.

Uudet toimintamuodot aiheuttivat kiivasta keskustelua

Jäsenistön puheenvuoroista ilmeni, että seuran toiminnan kehittämisen tavoitteet ovat hyviä, mutta sääntöjen muuttamista ei nähty tarpeellisena seuran uudistumiselle. Erityistä huomiota kiinnitettiin toimintaryhmien ja toimikuntien listaamiseen säännöissä: tämän koettiin asettavan turhan tiukat raamit toiminnalle. Sääntötasolla ei kannata sitoutua ylläpitämään ryhmiä, joiden elinvoimaisuudesta ei olla varmoja.

Varsinkin normitoimikunnan tarpeellisuus kyseenalaistettiin. VTT:n entinen asiakasjohtaja Rauno Rintamaa mainitsi, että vastaavaa

Eero Patrakka viittasi puheenvuorossaan johtokunnalle etukäteen toimitettuun kannanottoon, jonka mukaan sääntömuutokselle ei ole tarvetta. Mielipiteen, joka julkaistiin myös ATS Ydintekniikan numerossa 4/2015, oli allekirjoittanut seuran kuusi entistä puheenjohtajaa mukaan lukien Patrakka.

työtä tehdään eurooppalaisella tasolla useassa toimiryhmässä. Yleisesti jäsenistön keskuudessa tuntui vallitsevan näkemys, että tämänkaltaisen toiminta voisi johtaa tarpeettomiin ristiriitoihin viranomaisen kanssa. Myös lausuntotoimikunnan pelättiin tulevaisuudessa toimivan lähes lausuntoautomaatin tapaan ja vähentävän näin ATS:n sana-arvoa. Esitetyistä huolista kävi selvästi ilmi, että jäsenistöllä ei ole tarpeeksi tietoa uusista toimintamuodoista.

Uusi jäsenkategoria kannustaisi toimintaan osallistumista

Johtokunta ehdotti uutta ansioitunut jäsen -jäsenkategoriaa, jotta seuran toimintaan osallistumisen arvostus kasvaisi. Ansioituneeksi jäseneksi pääsisivät nimenomaan ATS:n toiminnassa meritoituneet henkilöt omalla hakeumuksellaan ja he olisivat vapautettuja jäsen-

Johtokunnasta olivat paikalla sääntömuutosta perustelemassa vain puheenjohtaja Kai Salminen (oik.) sekä sihteeri Henri Loukusa.



maksusta. Kiristyvän taloustilanteen aikana uuden jäsenkategorian pelättiin vaikuttavan negatiivisesti seuran talouteen ja sen kannustinvaikutuksesta oltiin erimielisiä.

Jäsenistön puolelta esitettiin näkemys, että ATS:n toiminnan järjestäminen tehdään tyyppillisesti työnantajan kustannuksella osana työtehtäviä, jonka vuoksi siitä ei erikseen tulisi palkita. Nähtävissä on kuitenkin muutos tähän totuttuun toimintamalliin ja yhä useampi ATS:n toiminnassa aktiivisesti mukana oleva käyttää vapaa-aikaansa seuran hyväksi.

Aloite toiminnassa ansioitumisen huomiointiin tuli jäsenistön mielestä tulla johtokunnalta, eikä henkilöltä itseltään. Nykyinen kunniajäsenkäytäntö koettiin riittäväksi ja yleisön joukosta tehtiin ehdotus, että seura voisi jakaa huomionosoituksia mieluummin esimerkiksi ansiomerkkien muodossa.

Erottamiskäytäntöjen keventäminen herätti huolta

Jäsenen erottaminen ehdotettiin siirrettäväksi yhdistyksen kokoukselta johtokunnalle. Muutosehdotuksen tarvetta ei perusteltu tarpeeksi selkeästi. Säännöissä tulisi taata erotettavaksi haluttavalle oikeus saada asia yhdistyk-

sen kokouksen ratkaistavaksi, jotta kohtuullisen pienilukuisen johtokunnan henkilökohtaisilla mielipiteillä ei olisi liian suurta vaikutusta erottamispäätökseen ja johtokunta ei voisi erottaa useita jäseniä muiden huomaamatta.

Yhdistyslain kolmannen luvun 15 § kolmannessa momentissa sanotaan: ”Jos erottamisesta sääntöjen mukaan päättää hallitus, voidaan säännöissä määrätä, että jäsenellä on oikeus saattaa erottaminen säännöissä määrättyssä ajassa yhdistyksen kokouksen ratkaistavaksi.” Oikeus asian käsittelyyn jäsenistön piirissä ei siis ole automaattinen.

Jatkotoimet

Paikalla olleista vain noin 10% kannatti sääntömuutosta. Puheenjohtaja ehdotti tilaisuuden alussa, että mikäli sääntömuutosehdotus ei saa vaadittavaa kannatusta, järjestetään lopuksi joukko neuvoa-antavia äänestyksiä, joiden tarkoituksena on selvittää muutosehdotuksen eniten vastustusta saavat kohdat. Valitettavasti näitä ei ehditty järjestää, mutta käydyin keskustelun laajuus ja painopisteet antoivat hyvän kuvan kipukohdista. Työ sääntömuutoksen eteen jatkuu käydyin keskustelun pohjalta: sitä ei siis ole hylätty vaan se on palautettu valmisteluun.

Päivitettyä sääntömuutosehdotusta käsiteltiin 11.3. järjestetyssä vuosikokouksessa. Päivitetystä ehdotuksesta oltiin muun muassa luovuttu toimikuntien yksilöimisestä säännöissä sekä uudesta ansioitunut jäsen -jäsenkategoriasta. Erotetulle jäsenelle kirjattiin lisäksi oikeus saattaa erottaminen yhdistyksen kokouksen ratkaistavaksi. Päivitetty sääntömuutosehdotus hyväksyttiin muutamin täsmennyksin vastaanottamatta. Säännöt tulee vielä hyväksyä toisessa jäsenkokouksessa ja toimittaa PRH:lle ennen niiden voimaantuloa. Vuosikokouksesta kerrotaan tarkemmin ATS Ydintekniikan numerossa 2/2016.

Kallioperän rikkonaisuuden mallinnus Suomessa

Joulukuinen KYT2018-ohjelman seminaari "Kallioperän rikkonaisuuden mallinnus Suomessa" kokosi yhteen joukon aktiivisia geologeja, hydrogeologeja, maaperägeologeja ja kalliomekaanikkoja. Rakoilu on joko haaste tai mahdollisuus – riippuen näkökannasta.

Teksti: Mira Markovaara-Koivisto, Eevaliisa Laine ja Kari Rasilainen

SUOMEN KALLIOPERÄN rikkonaisuutta tutkitaan ja mallinnetaan monella eri taholla; varmasti laajinta ja tarkinta mallia rakennetaan Olkiluodon kallioperästä, joka toimii yhtenä radionuklidien vapautumisesteenä Posivan loppusijoitustilan ja biosfäärin välillä. Rikkonaisuusmallinnusta on tehty myös pääkaupunkiseudulta kalliorakentamisen tarpeisiin, sekä Hyvinkäällä harjujen alaisen kallioperän rakennegeologisen tulkinnan perusteella. Lisäksi kallioperän rikkonaisuus kiinnostaa ST1:n Otaniemen syväreikä -hankkeessa, jossa geotermistä lämpöä suunnitellaan kerättäväksi kierrättämällä vettä

rikkonaisuusvyöhykkeen läpi usean kilometrin syvyydessä vallitsevassa 100 °C lämpötilassa.

Seminaarin tarkoitus

Vuonna 2015 joulukuun 3. päivänä GTK:n Espoon yksikössä järjestetty KYT2018-ohjelman seminaari Kallioperän rikkonaisuuden mallinnus Suomessa kokosi yhteen kotimaiset rakotutkijat ja -mallintajat. Kyseessä oli ensimmäinen kallioperän rakoilua koskeva KYT-seminaari koko tutkimusohjelmien pitkän historian aikana. KYT-ohjelmien puitteissa järjestettävien avointen seminaarien tarkoitus on

koota yhteen alan tutkijoita ja levittää tietoa tutkimuksen nykytilasta, sekä innostaa nuoria tutkijoita alalle.

Suorista ja välillisistä havainnoista 3D-malliksi

Seppo Paulamäen mukaan kallionpinnalta, kairareilistä tai tunneleista tehtyjä suoria havaintoja heikkousvyöhykkeistä ei voida yhdistää 3D-malliksi pelkästään havaittujen ominaisuuksien perusteella. Lisäksi tarvitaan erilaisia geofysiikan tutkimusmenetelmillä saatuja välillisiä havaintoja, sekä topografisia ja geofy-



DI Mira Markovaara-Koivisto
Tutkija

Kalliorakentaminen ja sijoituspaikat
Geologian tutkimuskeskus
mira.markovaara-koivisto@gtk.fi



TkT Eevaliisa Laine
Erikoistutkija

Kalliorakentaminen ja sijoituspaikat
Geologian tutkimuskeskus
eevaliisa.laine@gtk.fi



TkT Kari Rasilainen

Tiimipäällikkö, KYT2018
tutkimusohjelman koordinaattori
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
kari.rasilainen@vtt.fi



sikaalisia lineamenttitulkintoja karttatasoilta, joissa rakenteet voivat erottua jatkuvina viivamaisina piirteinä. Mallinnettujen heikkousvyöhykkeiden syntyjärjestystä on tutkittu illiitti-savimineraalista tehdyin K-Ar-ikämäärytyksin ja muodostumiseen johtaneita jännitystiloja taas siirrosten pinoilla näkyvien siirrossuuntien perusteella.

Raot seuraavat johtajaa

Pietari Skytän ja Marit Wennerströmin esitysten mukaan uudemmat hauraat rakenteet syntyvät usein vanhempiin deformaatiovyöhykkeisiin tai niiden yhteyteen. Plastisen muodonmuutoksen aiheuttamiin hiekkoihin syntyy hauraan deformaation aikana siirroksia, jotka uudelleen aktivoituvat kallioperässä vallitsevan jännityskentän muutoksien johdosta.

Hyvänä esimerkkinä viimeisimmistä aktivoitumisista maankohoamisen aiheuttamiin maanjäristyksiin liittyvät Lapin postglasiaali-siirroksiset, jotka näkyvät pitkinäkin törminä maaperässä Jukka-Pekka Palmun esityksen mukaan. Siirroksiin tehdyissä tutkimuskäivannoista on löytynyt teräviäkin siirrospintoja, joissa rapautunut kallioperä on työntynyt monta metriä ylöspäin maaperän vierelle. Maanjäristyksiä ja niiden aiheuttamia maan-

vyöryjä ajoitetaan radiohiilimenetelmällä käyttäen vyöryjen peittämää elollista materiaalia.

Rakoverkkomallinnus

Heikkousvyöhykkeiden lisäksi voidaan mallintaa vyöhykkeiden väliin jäävän kalliomassan rakoverkko tilastollisia menetelmiä käyttäen. Tilastollista tarkastelun kannalta tarpeellista tietoa on yleensä kerätty kalliopinnalta, kairareilista sekä tunnelin seinämistä. Eevaliisa Laineen ja Mira Markovaara-Koiviston esitelmän mukaan kasvanut tietokonekapasiteetti mahdollistaa rakoilun realistisen mallinnuksen, joka ottaa huomioon spatiaaliset vaihtelut rakotiheydessä, rakopituuden vaihtelut, rakojen muodon huomioimisen sekä rakojen ikäsuhteet.

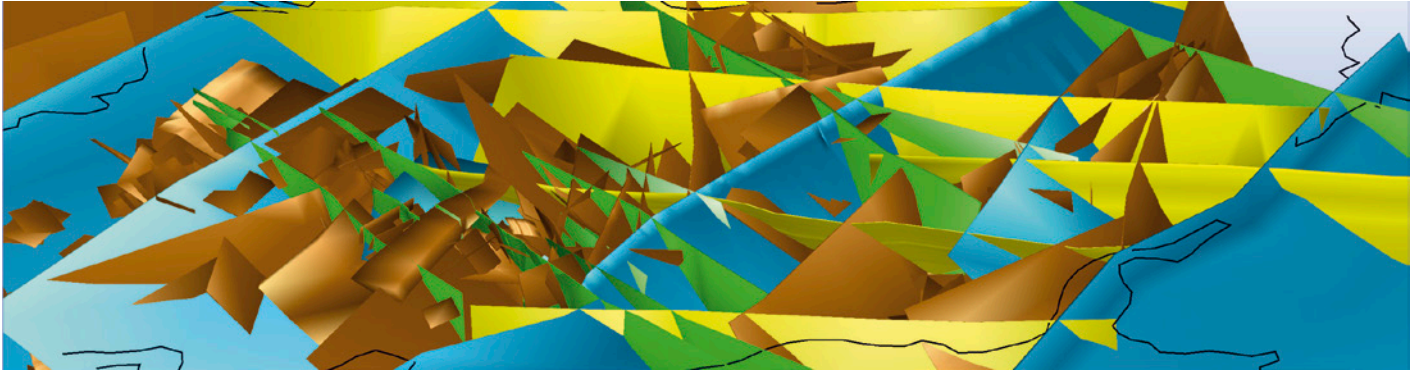
Rakoverkkomallinnusta voidaan tehdä myös käyttämällä esimerkiksi kallioseinämän kuvaa lähtökohtana rakoverkon tekemisessä. Luodun rakoverkon validoinnissa voidaan käyttää fysikaalista esim. hydraulisiin testeihin perustuvaa validointia, tai geologista ja fysikaalista validointia selvittämään onko tilastollisesti mallinnettu rakoverkko voinut syntyä, tai esim. ristikkäisvalidointia ja jack-knife-menetelmää, joissa rakomallinnus tehdään käyttäen vain osaa datasta, ja tuloksia

Aalto-yliopiston KARMO-projektissa käytetty menetelmä pienen mittakaavan rakopinnan digitaaliseen kopioimiseen ja pinnankarkeuden suuntavaihtelun määrittämiseksi. (Kuva Joni Sirkiä, Aalto-yliopisto)

verrataan poistettuihin tunnettuihin rakohavaintoihin.

Veden virtaus haurissa rakenteissa – niin hyvässä kuin pahassa

Kallion heikkousvyöhykkeet ja kalliomassan rakoilu toimivat niin veden kuin loppusijoitustilasta vapautuneiden radionuklidienkin kulkeutumisreitteinä Outi Vanhanarkauden esityksessä. Syvän kallion pohjavedenvirtausmalli perustuu stokastiseen rakoverkkomalliin, jossa mm. rakoavaumat, -pinnat ja -näytteet vaikuttavat virtauksen kanavoitumiseen. Ilmo Kukkonen kertoi geotermisen energian hyödyntämisestä peruskallioalueilla ja erityisesti kallion rakoilun ja vedenjohtavuuden merkityksestä. Esimerkkinä tarkasteltiin ST1:n Otaniemen kampuksen kallioperään suunnittelemaa geotermistä lämpövoimalaa, joka perustuu kahden 7 km syvän reiän välillä kierätettävään veteen.



Olkiluodon hauraan deformaation mallin 3.0 site-scale rikkonaisuusvyöhykkeet. Sinisellä, keltaisella ja vihreällä merkittävimmät vyöhykkeet, ja ruskealla erisuuntaiset local-scale rikkonaisuusvyöhykkeet. (Kuva Posivan luvalla)

Reikien alaosassa kohdattavien rakojen vedenjohtavuutta on mahdollisesti parannettava hydraulisella murtamisella, joka aiheuttaa pieniä liikuntoja olemassa oleviin rakoihin jättäen raot avoimiksi. Hydraulisen murtamisen riskinä on pienten maanjäristysten synnyttämisen mahdollisuus, mikä varsinkin Otaniemen yliopistoalueella realisoituessaan voisi olla haitallista herkille laboratorio- ja mittauslaitteille. Hydraulisen murtamisen aiheuttaman maanjäristyksen riski minimoidaan seuraamalla paineen kehitystä ja mikroseismitä hydraulin murtamisen aikana.

KYT2018-ohjelman rakotutkimukset

Kansallisessa ydinjätetutkimusohjelmassa, KYT2018:ssa, on käynnissä kaksi rakotutkimusprojektia: KARMO Aalto-yliopistolla ja ROSA GTK:lla. Joni Sirkiän esittelemässä KARMO-projektissa tutkitaan miten pienen mittakaavan rakonäytteestä voidaan johtaa suuren rakopinnan ominaisuudet. ROSA-

projektin tarkoituksena on julkaista ilmainen rakosimulointiohjelma, joka huomioi rakojen mitatut pituus- ja suuntajakaumat, ikäsuhteet, rakojen pintaominaisuudet ja rakojen määrän tilavuudessa.

Nostoja loppukeskustelusta

Pöydälle nostettiin huoli perinteisestä geologin koulutuksesta, jossa ei huomioida rakoilua tai rikkonaisuusvyöhykkeitä. Aalto-yliopiston teknillisille geologeille sekä kalliorakentajille nämä ovat tuttuja asioita, ja yhteistyö Aalto-yliopiston ja GTK:n välillä tullee tulevaisuudessa laajentumaan professorien panoksen ansiosta. Kalliorakentajien ja geologien välisen kielimuurinkin todettiin madaltuneen, koska geologit ovat työllistyneet hyvin insinööritoimistoihin. Myös geofysikoiden panosta kaivattiin geofysiikan kartoilta tulkittujen lineamenttien alla olevien rakenteiden kaateiden tulkitsemiseen. Niiden avulla voitaisiin linkittää monet topologiset ja magneettiset piirteet kallioerän rakenteisiin ja ominaisuuksiin.

Seminaarin esitelmät ja pitäjät

Avaus (Kari Rasilainen, VTT)

Olkiluodon pohjavesi- ja rakomallinnus (Outi Vanhanarkaus, POSIVA)

Olkiluodon hauraiden rakenteiden mallinnus (Seppo Paulamäki, GTK)

Kallioperän rakennetulkinta ja rakoilu (Marit Wennerström, GTK)

Duktiilit muotoviivat vs. lineamentit vs. hauraat rakenteet (Pietari Skyttä, TY)

Postglasiaalisiirroket (Jukka-Pekka Palmu, GTK)

Geotermisen energian hyödyntäminen peruskallioalueilla Kallioperän rakoilun ja vedenjohtavuuden merkitys (Ilmo Kukkonen, HY)

Aalto-yliopiston rakoilututkimukset (Joni Sirkiä, Aalto-yliopisto)

Rakoverkkomallinnus (Eevaliisa Laine ja Mira Markovaara-Koivisto, GTK)

Puheenjohtajat: Timo Ruskeenieni (GTK), Hannu Lahtinen (GTK), Jarmo Kallio GTK ja Ossi Ikävalko (GTK)

Esitelmät katseltavissa: http://kyt2018.vtt.fi/seminaari_03122015/index.htm

Systeminen turvallisuusjohtaminen

Systemisen turvallisuusjohtamisen päätavoite on turvallisuuden lisääminen erityisesti huomioiden turvallisuustoimenpiteiden keskinäiset vuorovaikutukset ja takaisinkytkennät. Intensiivikurssi näiden käytännönläheisten kysymysten tiimoilta keräsi kymmenen alan perus- ja jatko-opiskelijaa Aalto-yliopistoon syksyllä 2015.

Teksti: Antti Toppila ja Björn Wahlström

AALTO-YLIOPISTON intensiivikurssi ”Systeminen turvallisuuden suunnittelu ja johtaminen” pidettiin 1.–3.9.2015 Espoon Otaniemessä, entisessä TKK:n päärakennuksessa, joka nykyisin toimii Aalto-yliopiston kandidaattiopintojen keskuksena. Kurssihenkilökunta koostui tämän artikkelin kirjoittajista: luennoista ja opetussisällöistä vastasi Björn Wahlström ja käytännön järjestelyistä vastasi Antti Toppila.

Miksi kurssi systemisestä turvallisuusjohtamisesta?

Systemiseen näkökulmaan kuuluu kokonaisuuden hahmottaminen, jotta toimenpiteet osataan suhteuttaa ja ajoittaa oikein.

Systeminen turvallisuusjohtaminen painottaa erityisesti vuorovaikutuksia ja takaisinkytkentöjä, joita eri tekijöistä ja toimenpiteistä seuraa. Takaisinkytkentöihin perustuvia tasapainoja, joita turvallisuusjohtamisessa on huomioitava, ovat mm. huolellisuus-tehokkuus, kilpailu-yhteistyö, prosessi-tuote ja valvonta-luottamus. Liiallinen panostus yhteen toiseen kustannuksella aiheuttaa helposti turvallisuuteen negatiivisesti vaikuttavan takaisinkytkennän, joka pahimmillaan saattaa tehdä panostuksen nettovaikutuksen turvallisuutta vähentäväksi.

Esimerkkinä ei-toivotusta takaisinkytkennästä ovat tieliikenteen nopeusrajoitukset. Liian alhaisilla rajoituksilla jotkut kokevat rajoituksen ylityksen pienenä rikkeenä

ja tästä johtuen nopeuserot teillä kasvavat. Nopeuserot puolestaan korreloivat vahvasti lisääntyneiden liikenneonnettomuuksien kanssa. Turvallisuusjohtamisessa on siten huomioitava kaikkien tekijöiden systemiset vaikutukset ja osattava punnita niitä ja niiden merkittävyttä keskenään.

Riskien aina vain tarkempi mallintaminen ei välttämättä lisää turvallisuutta. Tämä johtuu siitä, että mallinnukseen liittyvät epävarmuudet ovat joka tapauksessa suuret, jolloin paremmalla mallilla saatetaan saada tuotettua vain marginaalisesti turvallisempia ratkaisuja, joiden implementointi voi olla virheellistä ja viedä resursseja tehokkaammilta ratkaisuilta. Kokonaisuuden ymmärtäminen sekä siihen vaikuttamisen mekanismien sisäistäminen ovat keskeisiä teemoja systemisessä turvallisuusjohtamisessa.

Turvallisuuteen käytettävien resurssien rajallisuudesta johtuen kaikkia turvallisuutta parantavia toimenpiteitä ei voida toteuttaa. Tästä syystä on esitettävä niitä toimenpiteitä, jotka tehokkaasti korjaavat löydettyjä puutteita pidemmän ajanjakson yli. Merkittäviin riskeihin pitää kuitenkin puuttua jo järjestelmien suunnitteluvaiheessa.

Turvallisuus – ”näin me tehdään bisnestä”

Huomattava esimerkki turvallisuusjohtamisen näkökulmista on kansainvälisen energiyhtiö BP plc:n johdon toiminta 2000-luvun aikana. Tänä ajanjaksona yhtiön turvallisuuden kuuluisaan historiaan kuuluvat mm. Deepwater Horizon lautan palo, räjähdykset Texas Cityn jalostamossa sekä vuodot Alaskan öljykentillä.

BP:n organisaatiossa turvallisuuskysymykset koettiin toimintaa haittaavina tai tehokkuutta vähentävinä. Niihin suhtauduttiin vähättelevästi, huolimattomasti tai jopa vastustavasti. Tämä lähtökohta oli jyrkkä vastakohta sille ideaalille, että turvallisuus 1) on keskeinen osa liiketoimintaa, 2) varmistaa toiminnan ennustettavuuden ja 3) pitkällä aikavälillä myös kustannustehokkuuden, kun onnettomuuksilta vältytään.

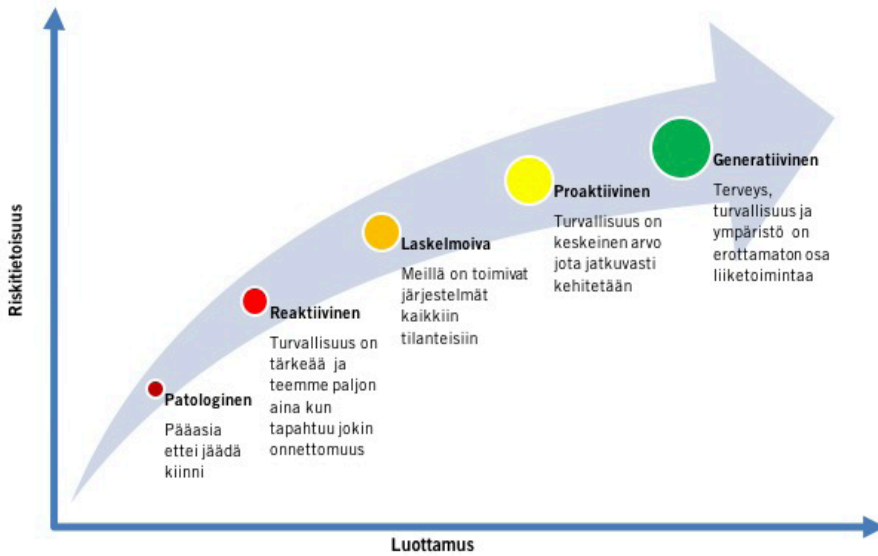
BP:n tapauksen pohjalta on helppo ymmärtää, miten turvallisuuskulttuurin puutteita voidaan tunnistaa ja mitä keinoja on käytettävissä niiden parantamiseksi. BP:n tapauksesta nousee esiin lyhytnäköisyys päätöksenteossa ja nopea kasvu hinnalla millä hyvänsä. Merkillä pantavaa on myös, että viranomai-



DI Antti Toppila
Tohtorikoulutettava
Aalto-yliopisto
antti.toppila@aalto.fi



TkL Björn Wahlström
Professori emeritus
Aalto-yliopisto
bjorn.wahlstrom@aalto.fi



Kuva 1. Turvallisuuskulttuurin tasoja.

set eivät puuttuneet BP:n toimintaan, vaikka mahdollisuuksia oli. Valtiovalta oli jopa kannustamassa onnettomuuksia kokenutta yhtiötä porauksiin Meksikonlahden syvillä vesillä, jotta Yhdysvaltojen kotimarkkinoille saataisiin edullista öljyä ja työpaikkoja.

Johtopäätöksenä voidaan pitää, että BP organisaationa oli ajautunut tilaan, jossa mikään riskianalyysi ei olisi kyennyt estämään onnettomuuksia, koska yhtiön turvallisuuskulttuuri oli kehittymätön. Kuvan 1 mukaisen turvallisuuskulttuurin kehittyneisyyttä kuvaavan mittariston [1] perusteella BP olisi joutunut alimpaan tai toiseksi alimpaan luokkaan, jossa onnettomuuksista ei välitetä, ellei niistä jäädä kiinni tai toimenpiteisiin ryhdytään vasta kun onnettomuus sattuu. Matkaa parhaimmalle, eli generatiiviselle tasolle, jossa turvallisuus on erottamaton osa organisaation toimintaa, oli todella paljon.

BP:n vastakohtana voitaneen pitää pohjoismaista ydinvoimateollisuuden turvallisuuskulttuuria, jossa uhkiin varaudutaan ennakkoiden ja vakavuudella. Laitoksia operoivat tahot osallistuvat aktiivisesti turvallisuutta kehittävään tutkimukseen ja varmistavat laitosten turvallisen hyödyntämisen sekä tietotaidon säilymisen pitkällä aikavälillä. Toiminta on kansainvälistä ja avointa, eikä voimayhtiöiden välinen kilpailu ole johtanut yhteistyökyvyttömyyteen turvallisuustutkimuksen tai käyttökokemusten jakamisen osalta. Myös valvovan viranomaisen toiminta ja lainsäädäntö on asianmukaisella tasolla.

Organisaation kokonaisvaltainen turvallisuustarkastelu

Kokonaisuuden hahmottamisen sovelluksia voidaan havainnollistaa perussyysanalyysin kautta. Tässä analyysimenetelmässä onnettomuuteen johtaneita tapahtumaketjuja seurataan syy-seurausketjujen avulla ajassa taaksepäin, kunnes löydetään ne syyt, jotka korjaamalla voidaan olettaa, että vastaaventyypinen onnettomuus ei enää voisi tapahtua.

Kokonaisuuden kannalta perussyitä kannatta kartoittaa niin kauas kun 1) kartoittamisen voidaan järkevästi olettaa synnyttävän turvallisuutta parantavia toimenpiteitä ja 2) kartoittaminen tuottaa ymmärrystä ja oppeja, joita viedään osaksi organisaation käytäntöjä. Tällöin voidaan saada organisaation kanssa vaikuttavat tahot, niin tuotantohenkilökunta, taloushenkilöstö kuin asiakkaatkin, sitoutetuksi yhteiseen turvallisuuden parantamiseen. Organisaation turvallisuusajattelua ja -kulttuuria voidaan tällä tavalla kehittää samalla kun varaudutaan yksittäisiin riskeihin.

Tarkastellaan esimerkinomaista onnettomuustilannetta, jossa huoltomies on kivunnut tikkaita pitkin tarkastelemaan ilmastointilaitetta, pudonnut lattialle, ja joutunut viikonlopun yli odottamaan apua. Syytä tapahtumaketjuun ovat mm. ilmastoinnin suunnittelu (miksi huollettava laite asennettu katonrajaan?), toimintatavat (miksi korjaa joku yksin? miksi vartiointi ei havainnut loukkaantunutta

huoltomiestä?), ja hankintatoimen käytänteet (miksi hankintavaiheessa riskiä ei havaittu?). Yksittäisen onnettomuuden analysoinnin kautta voidaan siis löytää organisaation toiminnassa olevia puutteita, joiden korjaaminen voisi estää samantapaisten onnettomuuksien syntymisen jatkossa.

Vuorovaikutusmalli kokonaisuuden hallintaan

Kuten edeltävästä esimerkistä ilmenee, organisaation kokonaisvaltainen turvallisuusanalyysi edellyttää monipuolista näkemystä turvallisuutta luovista ratkaisuista. Käsitteellinen MTOI-malli (MTOI = Man Technology Organization Information [2]) luo perustan vuorovaikutusten jaottelun, kuten havainnollistetaan kuvassa 2. Mallin mukaan organisaation toiminnan voidaan ajatella koostuvan teknisestä järjestelmästä, sitä käyttävästä henkilökunnasta, henkilöiden keskinäisestä vuorovaikutuksesta organisaation toimintatapojen mukaisesti ja tiedon kulusta sitä tarvitsevien tahojen välillä.

MTOI-mallia voidaan käyttää käsitteellisenä mallina keskeisten organisaation vuorovaikutusmekanismien luokitteluun ja ymmärtämi-

Näkemyksiä kurssin

KURSSIN PUITTEISSA opiskelijat kirjoittivat noin 10 sivun mittaisen esseeseen valitsemastaan kurssin piirissä olevasta aiheesta. Aiheita olivat mm. Challenger sukkan vikaantumisen tai pienen IT-asiiantuntijaorganisaation riskikaritoitus sekä kaupunginosan kyberturvallisuus. Alla on pari lyhyttä tiivistelmää esseissä esiintyneistä opiskelijoiden omiin pohdintoihin perustuvista ajatuksenkuluista.

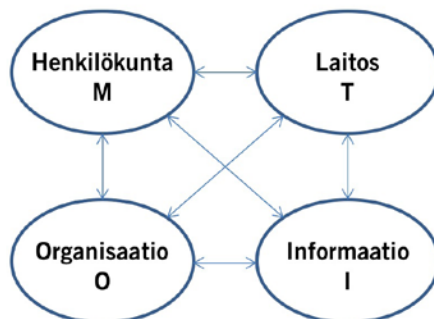
1. **Kuntayhtymän kyberturvallisuus** on monen toimijan vastuulla. Kun toimijoita on useampia, voidaan avoimella tietojen vaihdolla estää hakkeria toistamasta hyökkäyksiä useampaa toimijaa kohtaan, elleivät hyökkäykset kohdistu niin lyhyelle aikavälille, että niihin reagoiminen ei onnistu. Avoin tietojen vaihto on kuitenkin myös uhka, sillä se edellyttää myös turvallisuustoimintojen yksityiskohtien jakamisen suuressa määrällä toimijoita. Tällöin hakkeri voi saada useammalta taholta käsiinsä

seen. Kurssilla keskusteltiin myös mallin käytämistä parametrisenä mallina, jonka pohjalta laadittavan mittariston avulla voidaan tarkkailla organisaation turvallisuutta riittävän monipuolisesti.

Mittaristo voisi perustua seuraavaan jaotteeluun: laitoksen teknistä turvallisuutta voidaan seurata todennäköisyyspohjaisen riskianalyysin (probabilistic risk assessment, PRA), nykyisten ja tulevien parannusinvestointien sekä kunnossapitotoimien pohjalta. Henkilökunnan osaamistasoa mittaa mm. heidän koulutustasonsa ja kokemusvuotensa. Organisaation kyvykkyyttä tarkkaillaan auditointien ja kansainvälisten suorituskykyvertailuiden avulla.

Informaation osalta mittaristo voi perustua dokumentaation ajantasaisuuteen (milloin päivitetty/tarkastettu viimeksi?) ja dokumentaatiojärjestelmän kattavuuteen, helppokäyttöisyyteen ja toimintavarmuuteen. Myös vikatilanteiden harjoituksista tai auditoinneista saaduista kokemuksista voidaan tehdä päätelmiä informaatiojärjestelmän kehitystarpeista.

Mittarit voidaan MTOI mallin mukaisen jaotuksen lisäksi jaotella tulevaisuutta ja menneisyyttä kuvaaviin mittareihin (ns. leading



Kuva 2. MTOI malli.

and lagging indicators). Tämä jaottelu auttaa hahmottamaan suuntaa johon organisaation turvallisuustilanne on kehittymässä ja arvioimaan kehityksen riittävyttä.

Turvallisuuden parantaminen tulevaisuudessa

Turvallisuusjohtamisen perusdilemma on samanaikaisesti todistaa että järjestelmä on riittävän turvallinen ja silti kyseenalaistaa järjestelmän turvallisuus uskottavalla tavalla. Erityisen haasteen niin turvallisuuden todistamiselle kuin turvallisuuden järkevälle kyseenalaistamiselle muodostavat nk. mustat joutset, eli merkittävät riskitapahtumat, joista ei ole kokemusperäistä tietoa, joten niiden tapahtumista ei ole osattu edes kuvitella mahdollisiksi. Resilienssi, jota voidaan luonnehtia järjestelmän kykyä palautua vikatilanteista, on eräs tapa hallita tällaisia tapahtumia.

Teknologian kehittyessä järjestelmät ovat muuttuneet monimutkaisimmiksi. Niiden ohjaamiseen tarvitaan nykyään huomattava määrä prosessiautomaatiota. Digitaaliset automaatiojärjestelmät ovatkin tuoneet ohjelmistojen virheiden ja haavoittuvuuksien analysoinnin turvallisuustutkimuksen ytimeen. Nykyaikaiset järjestelmät ovat tietojärjestelmien yleistymisen ja verkottumisen myötä myös alttiimpia älykkään toimijan häirinnälle ja sabotaasille.

Turvallisuuskriittistä teknologiaa, kuten lasanatunnistautumista, sähköpostia, verkkopankkitunnuksia ja USB-tikkuja käytetään niin yksityis- kuin työelämässäkkin. Erinäisten järjestelmien verkostumisen myötä hakkerit voivatkin hyödyntää turvallisuusaukkoja heikoimmassa järjestelmässä vahvempien järjestelmien hakkeroinniseksi. Yksittäinen ihminen ei välttämättä osaa tai huomaa käyttää tarvittavia suojaajia kaikissa järjestelmissä. Tunkeutumisen tunnistaminen ja siltä suojauminen erilaisilla puolustusmekanismeilla onkin tärkeä tutkimussuuntaus kyberturvallisuuden parantamiseksi.

Riskienhallinnassa käytetyt menetelmät ja mallit ovat kehittyneet paljon viimeisten vuosikymmenien aikana. Tämän kehitystyön täysimittainen hyödyntäminen edellyttää suuria tietomääriä ja useiden mallien ja menetelmien kehittämistä ja käyttämistä.

Kurssin sanoma

Turvallisuutta kehittäessä keskeinen kysymys onkin, kykenevätkö ihmiset hallitsemaan monimutkaisia järjestelmiä, joiden turvallisuus rakentuu syvyysuuntaiseen puolustukseen. Järjestelmien turvallisuussuunnitteluun pitää panostaa riittävästi ja niiden käyttämiseen liittyvät riskit pitää saattaa niin pieniksi, että niitä voidaan pitää hyväksyttävänä. Mikäli järjestelmään liittyy liian suuria riskejä, sitä ei pidä ottaa käyttöön tai sen käyttö on hallitusti keskeytettävä.

Järjestelmän käyttöönotto edellyttää myös, että sitä käyttävälle organisaatiolle on kehitetty riittävän hyvät tekniset apuvälineet ja keinot, sekä turvallisuustoiminnot ja -käytännöt riskien hallitsemiseksi. Tämä kehitys edellyttää kriittistä suhtautumista riskien esiintymiseen, halua kehittää, oppia ja ymmärtää eri teknologioihin liittyviä riskejä sekä kykyä luoda ymmärtämistä tukevia oppimisprosesseja. Lisäksi riskienhallinnan kattavuuden ja riittävyyden osoittaminen on tehtävä riippumattomasti, avoimesti ja ennen kaikkea kriittisesti.

Kurssin verkkosivut: <http://sal.aalto.fi/en/gradschool/courses/turvallisuus>

Viitteet:

- [1] D. Parker, M. Lawrie, P. Hudson. 2006. A framework for understanding the development of organisational safety culture, *Safety Science* 44 551–562.
- [2] B. Wahlström, C. Rollenhagen 2014. Safety management – a multi-level control problem. *Safety Science*, 69, pp. 3–17.

opiskelijoilta

tietoja järjestelmän rakenteesta, joita käyttäen hyökkäyksen suunnittelu ja toteuttaminen mahdollistuu.

2. **Syvyysuuntainen puolustus** on tehokas tapa suojautua riskeiltä, mutta inhimilliset toimijat voivat aiheuttaa uhkia tämän periaatteen toimivuuteen, etenkin jos turvallisuuskulttuurissa on puutteita. Esimerkiksi laitteiden ja rakenteiden testaamisen yhteydessä ihmiset saattavat tiedostamattaan etsiä vain vahvistusta olettamukselle, että komponentti omaa siltä vaadittavat ominaisuudet sen sijaan, että tehokkaasti pyrittäisiin kumoamaan tämä oletus. Esimerkiksi BP:n Meksikonlahden onnettomuutta analysoidessa, muiden virheiden lisäksi testaajat etsivät aktiivisesti syitä hylkäävälle testitulokselle omasta toiminnastaan, jolloin he jättivät huomiotta mahdollisuuden, että testattava komponentti todellakin olisi viallinen.



Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus Suomessa turvallisuusviranomaisen näkökulmasta

Posivalle myönnettiin käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupa vuoden 2015 lopulla. Ennen luvan myöntämistä vuosien 2013–2015 aikana Säteilyturvakeskus (STUK) tarkasti hakemuksen ja valmisteli työ- ja elinkeinoministeriölle maailman ensimmäisen viranomaisen turvallisuusarvion käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta.



FM Kai Hämäläinen
Projektipäällikkö
Säteilyturvakeskus
kai.hamalainen@stuk.fi

Teksti: Kai Hämäläinen

Käytetyn ydinpolttoaineen huolto mukana suunnittelussa ydinvoimalaitosten käytön alusta lähtien

Suomen käytetyn ydinpolttoaineen huollon valmistelu aloitettiin 1970-luvun loppupuolella, kun sekä Loviisan että Olkiluodon voimalaitosten käyttö oli alussa. Valtioneuvostossa vuonna 1978 tehdyllä päätöksellä määriteltiin vas-

tuu ydinjätteiden huollosta ja kustannuksista loppusijoitukseen saakka kuuluvaksi jätehuoltovelvollisille. Lisäksi päätöksessä edellytettiin ydinjätehuollon toteuttamiseen tarvittavien varojen keräämisestä hyötykäytön aikana. Kolmas merkittävä linjaus tehtiin ydinjätehuollon tutkimus- ja kehitystyön tehostamisesta ja viranomaisvalvonnasta.

STUK on valvonut ONKALOn rakentamista alusta alkaen ja valvonta jatkui myös rakentamislupahakemuksen käsittelyn aikana. (Kuva: Paula Ruotsalainen)

Periaatteellisten linjausten lisäksi käytetyn ydinpolttoaineen huolto näkyi myös Olkiluodon voimalaitosten ensimmäisessä käyttöluvassa, joka myönnettiin vain viiden vuoden mittaisena. Yhtenä tekijänä taustalla oli, että Teollisuuden Voima Oyj:llä (TVO) ei ollut tuolloin vielä tarjota periaatteellista ratkaisua käytetyn ydinpolttoaineen huollolle. Loviisan polttoaineen osalta vastaavaa ongelmaa ei ollut, koska silloisella Imatran Voima Oy:llä (IVO) oli sopimus käytetyn ydinpolttoaineen palautuksesta Neuvostoliittoon Majakin jälleenkäsittelylaitokselle.

Seuraavan kerran käytetyn ydinpolttoaineen huollon linjauksia tehtiin valtioneuvostossa vuonna 1983, jolloin päätettiin kotimaisen loppusijoitusvaihtoehdon valmistelusta kansainvälisten vaihtoehtojen rinnalla. Päätöksessä todettiin, että paikka loppusijoitukselle on valittava vuoteen 2000 mennessä, rakentamislupaa on haettava 2010 mennessä ja loppusijoituksen pitää alkaa noin 2020. Aikataulua päivitettiin vuonna 2003, jolloin rakentamislupaa jättämiseen annettiin kaksi vuotta lisää aikaa, eli sitä piti hakea vuoden 2012 aikana.

TVO:n selvitystöiden perusteella kansainvälisen vaihtoehdon toteutuminen näytti epätodennäköiseltä ja yhtiö käynnistikin selvitykset loppusijoituksesta Suomeen 1980-luvun alkupuolella. Vuonna 1991 kauppa- ja teollisuusministeriö edellytti päätöksellä TVO:n varautumaan turvallisuus- ja ympäristönsuojeluvaatimukset täyttävään kotimaiseen loppusijoitusratkaisuun. Vuonna 1994 eduskunnassa tehtiin merkittävä linjaus ydinjätehuollon osalta, kun ydinerogialakia päivitettiin. Päivitetystä laissa kiellettiin ydinjätteen maahan tuonti ja maasta vienti. TVO:n suunnitelmiin tämä muutos ei vaikuttanut, mutta se päätti IVO:n mahdollisuuden palauttaa käytetty ydinpolttoaine itänaapurimme ja johti lopulta Posiva Oy:n (Posiva) perustamiseen vuonna 1995.

STUKin ydinjätteiden ja ydinmateriaalien valvontaosasto kehityspäivillä vuonna 2011. Yhtenä aiheena oli Posivan tulevan rakentamislupahakemuksen käsittely.

Vuonna 1983 asetetussa aikataulussa on edetty näihin päiviin saakka. Posiva valitsi Olkiluodon loppusijoituslaitoksen paikaksi vuonna 1999 hieman ennen periaatepäätöstöshakemuksen jättämistä, periaatepäätös vahvistettiin eduskunnassa vuonna 2001 ja Posiva jätti rakentamislupahakemuksen vuoden 2012 lopulla.

Valmistautuminen rakentamislupahakemuksen tarkastukseen

STUKin osalta valmistautuminen rakentamislupahakemuksen tarkastukseen aloitettiin periaatepäätöksen jälkeen. Alkuvaiheessa tämä tarkoitti Posivan hankkeen seuranta ydinerogialain edellyttämän ydinjätehuollon toteuttamista koskevan suunnitelman puitteissa sekä Posivan julkaisemien raporttien arviointeja, joissa käytettiin STUKin resurssien lisäksi myös kansainvälisiä asiantuntijoita. Myöhemmin kuvioon tuli mukaan maanalaisen tutkimustilan, ONKALOn, rakentamisen valvonta, jota toteutettiin samoilla menettelyillä kuin ydinlaitoksen rakentamisen valvontaa. Tähän päädyttiin, koska Posivan esityksen mukaan ONKALO on tarkoitettu myöhemmin laajentaa varsinaiseksi loppusijoituslaitokseksi.

Posivan valvonnan ohella STUKissa tehtiin vuonna 2006 kehityssuunnitelma, jonka tavoitteena oli varmistaa viranomaisen riittävä osaaminen ja resurssit käytetyn ydin-

polttoaineen valvontaan tulevaisuudessa. Suunnitelman toimeenpano onnistui hyvin. Vuoden 2006 lähtötilanteesta STUKissa ydinjätteiden parissa työskentelevien henkilöiden määrä lähes kolminkertaistettiin vuoteen 2012 mennessä.

Kun vuonna 2003 silloinen kauppa- ja teollisuusministeriö teki päätöksen rakentamislupahakemuksen lykkäämisestä kahdella vuodella eteenpäin alkuperäisestä aikataulusta, edellytettiin Posivaa toimittamaan vuonna 2009 alustavat ydinerogia-asetuksen 32 § mukaiset selvitykset ministeriölle. Posiva ja STUK sopivat, että tämän ns. esirakentamislupahakemuksen yhteydessä Posiva toimittaa STUKille lupahakemukseen liittyvän ydinerogia-asetuksen 35 § mukaisen teknisen aineiston luonnosversiot ja STUK tekee tarkastuksen aineistolle.

Esirakentamislupahakemuksen tarkastusta varten STUKissa perustettiin projekti, jossa suunniteltiin tarkastustapa, resurssit, aikataulut, koottiin vaatimus pohja tarkastusta varten ja lopulta toteutettiin lupahakemuksen tarkastus suunnitelmien mukaisesti. Tarkastuksen johtopäätökset toimitettiin Posivalle. Tämä toimi erinomaisena kenraaliharjoituksena STUKille tulevaa rakentamislupahakemusta ajatellen.

STUKissa aloitettiin vuonna 2005 mittava YVL-ohjeiden uudistusprojekti, jossa koko ydinlaitoksia käsittelevä viranomaisohjeisto kirjoitettiin uusiksi. Alkuperäisen suunnitelman mukaan projektin olisi pitänyt olla val-



mis ennen kuin Posiva jättää rakentamislupahakemuksen, mutta kuten niin usein projekteilla on tapana, tämäkin viivästyí alku-keräisestä aikataulustaan. Yhtenä merkittävänä tekijänä viivästykselle oli vuonna 2011 tapahtunut Fukushima onnettomuus, josta saadut opit haluttiin sisällyttää uuteen YVL-ohjeistoon.

Ohjeiston pääosa julkaistiin vuoden 2013 lopulla, joten ohjeisto ei ollut voimassa, kun Posiva toimitti lupahakemuksen työ- ja elinkeinoministeriölle (TEM). Kun Posiva valmisti lupahakemusta, sovittiin STUKin ja Posivan välillä, että Posiva voi tehdä lupahakemuksen uuden säännösten loppuvaiheen luonnoksiin perustuen ja STUK tekee tarkastuksen sovel-

taen uusia ohjeita. Tämä aiheutti haasteita molemmille osapuolille, koska luonnosversioihin tuli pieniä muutoksia niiden viimeistelyssä. Pidemmällä tähtäyksellä linjaus oli kuitenkin onnistunut, koska lupahakemus on nyt käsitelty uuden ohjeiston mukaisesti ja se helpottaa myös Posivan urakkaa hankkeen edetessä kohti käyttölupahakemusta.

Lupahakemuksen tarkastus

STUKissa käynnistettiin vuonna 2011 käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen luvituksen ja rakentamisen valvontaan tähtäävä PORA-projekti, joka oli jaettu neljään päävaiheeseen: valmistautuminen, rakentamislupa-

hakemuksen käsittely, rakentamisen valvonta ja käyttölupahakemuksen käsittely.

Valmistautumisvaiheessa suunniteltiin rakentamislupahakemuksen tarkastuksen toteutustapa, organisaatio, tarkastusohjelma ja tehtiin tarkastusvaiheen resurssisuunnitelma. Tarkastustyöhön valmistauduttiin kokoamalla turvallisuuden, turvajärjestelyjen, ydinmateriaalivalvonnan ja valmiusjärjestelyjen vaatimus pohja yhdeksi kokonaisuudeksi, joka toimi runkona koko tarkastukselle ja turvallisuuden arvioinnille.

STUKin omien resurssien kasvattamisen lisäksi tarkastustyössä suunniteltiin käytettävän ulkopuolista osaamista erityisesti pitkäaikaisturvallisuusperustelun tarkastustyön tukena. Jotta ulkopuolinen asiantuntemus oli käytettävissä tarkastustyössä, valmistautumisvaiheessa toteutettiin ulkopuolisten asiantuntijoiden kilpailutus. Prosessin tuloksena STUK teki koko rakentamislupahakemuksen tarkastuksen ajan kattavat puitesopimukset 13 eri alalta.

Kun Posiva toimitti rakentamislupahakemuksen TEMille ja teknisen aineiston STUKille vuoden 2012 lopulla, projektissa siirryttiin lupahakemuksen tarkastusvaiheeseen. Se aloitettiin hakemuksen kattavuustarkastuksella, joka toteutettiin kahdessa vaiheessa, koska Posiva ilmoitti hakemuksen yhteydessä täydentävänsä pitkäaikaisturvallisuusperustelun aineistoa vuoden 2013 aikana.

Kattavuustarkastuksen ensimmäinen vaihe saatiin päätökseen huhtikuussa 2013. Johtopäätöksenä todettiin hakemuksen tarkastuksen käynnistyvän pääosin, mutta Posivaa edellytettiin päivittämään ja täydentämään aineistoa muutamilta osin. Kattavuustarkastuksen toisen vaiheen johtopäätöksenä STUK totesi syksyllä 2013, että täydennetty pitkäaikaisturvallisuusperustelu otetaan tarkastuskäsittelyyn.

Lupahakemuksen yksityiskohtainen tarkastus aloitettiin välittömästi kattavuustarkastuksen jälkeen ja se jatkui vuoden 2014 loppuun saakka. Tarkastuksen aikana Posiva vastasi noin kolmeen kymmeneen STUKin selvityspyyntöön ja päivitti aineistoja niiden perusteella. Virallisen kirjeenvaihdon rinnalla tarkastusasioita käsiteltiin myös STUKin ja Posivan välisissä kokouksissa.

Tarkastuksen rinnalla ja sen tukena toteutettiin rakentamislupahakemuksen käsittelyn ai-



*Posivan STUKille toimittama rakentamislupahakemusaineisto 31.12.2012.
(Kuva: STUK)*

kainen tarkastusohjelma. Sen puitteissa toteutettiin yhteensä 17 tarkastusta, jotka keskittyivät Posivan johtamisjärjestelmään, prosesseihin ja menettelytapoihin. Ohjelman yksi keskeinen tavoite oli arvioida Posivan organisatorista valmiutta aloittaa rakentamishanke ja näin tukea STUKin työtä turvallisuuden arvioinnissa.

Posivan ehdottama loppusijoituskonsepti on käytännössä samanlainen kuin Ruotsissa ja Posiva on tehnyt ruotsalaisen SKB:n (Svensk Kärnbränslehantering AB) kanssa laajasti yhteistyötä lupahakemuksen eri osaluilla. SKB jätti oman lupahakemuksensa Ruotsin viranomaiselle, SSM:lle (Strålsäkerhetsmyndigheten) tarkastettavaksi vuonna 2011. Lupahakemuksen tarkastustyön ohella STUK seurasi myös SSM:n tarkastuksen tilannetta ja osallistui SSM:n järjestämiin tilaisuuksiin tarkkailijana. Vastavuoroisesti SSM:n edustajat kutsuttiin osallistumaan STUKin järjestämiin tilaisuuksiin Suomessa. Lisäksi STUKin tarkastustyön loppuvaiheessa viranomaisien välillä järjestettiin tarkastushavaintoihin ja niiden taustoihin keskittynyt työpaja.

Tarkastuksen lopputuloksena STUK teki hyväksyvät päätökset ydinenergia-asetuksen 35 § edellyttämistä asiakirjoista. Vaikka päätöksissä Posivalle asetettiin useita vaatimuksia jatkotyölle, aineisto todettiin riittäväksi rakentamislupahakemusvaihetta varten. Osa esitetyistä, erityisesti laitossuunnitteluun liittyvistä, vaatimuksista edellytetään uudessa YVL-ohjeistossa ydinlaitokselta jo rakentamislupavaiheessa. Posivan laitoshankkeen osalta sovellettiin ns. graded approachia, jossa otetaan huomioon ko. laitoksen pienemmät riskit ja järjestelmien vähäinen määrä verrattuna ydinvoimalaitoksen riskeihin ja järjestelmien määrään. Tällä perusteella katsottiin, että hanke voi edetä STUKin valvonnassa rakentamislupavaiheeseen. Normaalin rakentamisen valvonnan ohella STUK valvoo, että Posivalle rakentamislupahakemukseen liittyvissä päätöksissä asetetut vaatimukset täyttyvät oikea-aikaisesti.

Tarkastustyön pohjalta STUK valmisteli TEMille hankkeesta lausunnon ja turvallisuusarvion sekä pyysi lausunnon liitteeksi ydinturvallisuusneuvottelukunnan näkemyksen rakentamislupahakemuksesta. Helmikuussa 2015 TEMille annetun lausunnon johtopäätös oli, että esitetty laitokokonaisuus voidaan rakentaa turvallisiksi. TEM valmisteli hankkeesta esityksen valtioneuvostolle sekä esitti loppusijoitushankkeen etenemisestä yhteenvedon eduskunnalle vuoden 2001 periaatepäätöksen vaatimuksen mukaisesti marraskuussa

2015. Valtioneuvosto myönsi rakentamisluvan Posivalle 12.11.2015.

Käytetyt resurssit ja valmistautuminen rakentamislupavaiheeseen

Lausunnon antamisen jälkeen STUKissa ryhdyttiin suunnittelemaan projektin seuraavaa vaihetta, rakentamisen valvonta ja siihen soveltuva valvontamallia. Tämä työ sisältää varsinaisen rakentamisen valvonnan ja rakentamisen tarkastusohjelman suunnittelun lisäksi YVL-ohjeiden tarkentamisen rakentamislupahakemusvaiheessa saatujen kokemusten perusteella ja STUKin sisäisten tarkastusohjeiden valmistelun. YVL-ohjeiden asettamien vaatimusten lisäksi asiakirjoista tehdyissä päätöksissä otetaan huomioon YEA 35 §:ssä asetetut vaatimukset rakentamisen valvontavaiheessa.

Rakentamislupahakemuksen tarkastukseen osallistui lähes 90 henkilöä ja tarkastukseen käytettiin kokonaisuudessaan noin 26,5 henkilötyövuotta, joista noin 7,3 htv oli STUKin ulkopuolisia resursseja. STUKista tarkastukseen osallistui noin 60 henkilöä, joista noin 20 tekee pääsääntöisesti töitä ydinjätehuollon sektorilla. Muut tarkastukseen osallistuneet henkilöt työskentelevät pääosin ydinvoimalaitosten valvonnan parissa. Osastorajat ylittävä yhteistyö onnistui projektissa hyvin ja samaa käytäntöä on tarkoitus jatkaa myös rakentamislupavaiheessa. Joustavalla ja laajalla osastorajat ylittävällä yhteistyöllä varmistetaan, että projektilla on käytettävissä riittävät resurssit, paras mahdollinen osaaminen ja että valvottavia tahoja kohdellaan tasapuolisesti laitosstyyppistä riippumatta.

Suomalaisen Ydintekniikan Päivät 2016

Suomen Atomiteknillinen Seura ry. täyttää 50 vuotta vuonna 2016. Osana juhllisuuksia järjestämme Suomalaisen Ydintekniikan Päivät 2.–3. marraskuuta 2016 Marina Congress Centerissä Helsingin Katajanokalla.

Päivien sisältö:

- Teknis-tieteellinen konferenssi
- Alan yritysten esittäytyminen
- ATS:n 50-vuotisjuhlailallinen
- Yleisöluento ydintekniikan aihepiiristä

Konferenssiin kutsutaan puhe- ja posteriesityksiä ydintekniikan alalta laajasti käsitettynä. Esimerkkejä aihepiireistä:

- Reaktorifysiikka ja -dynamiikka
- Säteilyn ja hiukkasten kulkeutuminen
- Säteilysuojelu
- Ydinturvallisuus ja turvallisuus-systeemit
- Termohydrauliikka
- Materiaalitekniikka
- Fuusioteknologia
- Radiokemia
- Riskianalyysi
- Ydinjätehuolto
- Lisensiointi
- Organisaatiopsykologia
- Ympäristösosiologia
- Talouskysymykset
- Tiedotus

Tässä vaiheessa kehoitamme kaikkia ATS:n jäseniä varaamaan päivät kalenterissaan SYP2016:lle. Lisätietoa on saatavissa verkkosivun www.ats-fns.fi/fi/syp2016 kautta sekä työryhmän puheenjohtajalta Jarmo Ala-Heikkilältä (jarmo.ala-heikkila@aalto.fi).

Posivalainen loppusijoitusratkaisu

Käytetyt ydinpolttoaine-elementit muutamaan tuhanteen kapseliin, kapselit tunneliston tunnelien pystyreikiin yksi kapseli yhtä reikää kohden maan syvyyksiin yli 400 metriin, viimeiseksi reikien ja tunnelien bentoniittisavetus ylös maan pintaan asti. Hyväksyttävästi tehdyn loppusijoituksen ja sulkeamisen jälkeen vastuu loppusijoituspaikan turvallisuudesta siirtyy 2100-luvun alkupuolella lain mukaan Suomen valtiolle, sikäli kuin loppusijoitustoiminta ei jatku tämän päivän suunnitelmista eteenpäin.

Teksti: Klaus Kilpi **Kuvat:** Posiva Oy

SIINÄ TIIVISTETYSTI haastattelijana muotoilemani Posiva Oy:n toimitusjohtaja Janne Moka (vasemmalla) selkohaastateltu tarina posivalaiseksi käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusratkaisuksi. Ulkona tammikuun talvipakkaset, ollaan Olkiluodossa, Keskuskonttorissa. Edessäni istuu kantavalla äänellä puhuva iso mies, itselleni uusi tuttavuus, voisi hyvinkin olla joku entinen jääkiekkoilija. Valtioneuvosto on marraskuussa 2015 myöntänyt Posivan vuonna 2012 jättämälle hakemukselle käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituspaikan rakentamisluvan. Siinä haastattelulle tärkein syy ja peruste, keskustelemme Posivan toiminnasta, menneestä, nykyisyydestä ja suunnitellusta tulevasta. Kyllä tästä hyvä tulee!

Janne Mokka itse itsestään

Ennen kuin mennään Posivan asioihin, niin kertoisitko hiukan vaiheistasi ja työurastasi.

Olen Helsingissä syntynyt espoolainen ja muutin 12-vuotiaana vanhempien mukana Raumalle. Raumalaiseksi itseni lasken. Valmistuin sähkötekniikan diplomi-insinööriksi vuonna 1997 Tampereen teknillisestä korkeakoulusta. Opintojen jälkeen menin töihin ABB Pitäjänmäelle. Sieltä muutin takaisin Tampereelle, kun Partek osti Kalmar Industries'in niihin aikoihin. Vuonna 2003 siirryin TVO:n palvelukseen, varsinaisesti rakentamaan Olkiluoto 3:ta, jonka neuvottelu- ja investointipäätöstä oltiin silloin tekemässä. Mutta jo vuotta myöhemmin siirryin käyville laitoksille sähkö- ja automaatiokunnossapidon vetäjäksi ja edelleen vuonna 2008 vetämään



DI Klaus Kilpi
Toimittaja
ATS Ydintekniikka
klaus.kilpi@welho.com

tekniikkaosastoa eli käytännössä Olkiluoto 1:n ja 2:n eliniän hallintaa.

Osaston tehtäviin kuuluivat erilaiset modernisointiprojektit: uusittiin muun muassa turbiinia ja eristysventtiileitä. Vuosina 2011–2014 vedin Olkiluoto 4 -hanketta, kunnes runsas vuosi sitten siirryin Posivaan. Uusi pesti, mutta pitää tietysti muistaa, että olin vuodesta 2008 johtoryhmän jäsen TVO:ssa, johon Posiva on läheisessä yhteydessä. Oli siksi varsin helppoa siirtyä Posivaan, tiesin mistä siellä on kyse. Posivan palveluksessa on loppusijoitukseen tarvittavat spesifiset resurssit, projektin avainhenkilöt, kuten pitkäaikaisturvallisuuden ja laitosrakentamisen asiantuntijat. Kun kyse on esimerkiksi taloudesta, henkilöstöhallinnosta tai laatuasioista, käytämme TVO:n resursseja.

Itsekin olen "paljasjalkainen helsinkiläinen" mutta 2-vuotiaasta lähtien koulun loppuun porilainen. Meillä on Pori–Rauma-akselilla jääkiekko varmaankin yhteinen harrastus, ollut tosin eri aikoina? Luokkatovereitani olivat jääkiekkolegendat Vellu Ketola ja Alpo Suhonen. Koulupoikana kävin aina Isonmäen hallissa matseja katsomassa ja Äijänsuollakin silloin tällöin.

Joo, onhan Lukko Raumalla tärkeä asia. Jääkiekkoa seurasin pikkupoikana, pelasinkin, ja vanhemmalla iällä olen ollut Lukon toiminnassa ry:n, kiekkoilun tuen ja oy:n hallituksissa. Raumalle takaisin muutettuani olen lasten ringetteharrastuksen myötä tehnyt talkootöitä ja ollut seuran luottamustehtävissä.

Ydinjätehuollon historiasta

Mennään sitten ydinjäteasioihin. Kuinka ydinjätehuolto organisoitiin Suomessa ennen Posivaa?

TVO:lla oli oma ydinjätehuoltotoimisto. Ja Fortumin, silloisen IVO:n, laitoksilta Loviisasta käytetty ydinpolttoaine vietiin takaisin Venäjälle. Heillä oli jonkun verran ydinjätetutkimusta, muttei niin merkittävässä määrin kuin TVO:lla. Suomen liityttyä EU:hun ydinenergiialakia muutettiin siten, että käytetty ydinpolttoainetta ei saa tuoda Suomeen eikä viedä Suomesta pois. Tuolloin IVO ja TVO päättivät lyödä hynttyyt yhteen. Miksi me molemmat tätä tutkimme, perustetaan organisaatio, joka tutkii sitä molemmille. Posiva perustettiin vuonna 1995.

Mutta jo sitä ennen oli ydinjätehuollossa kuljettu pitkä tie. Vuonna 1978 TVO sai käyttöluvan viideksi vuodeksi Olkiluoto 1 -laitosyksikölle. Luvan yhtenä ehtona oli, että vuoteen 1983

mennessä TVO:n pitää tehdä esitys, miten se suunnittelee toteuttavansa laitosisyksiköidensä käytetyn polttoaineen loppusijoituksen. Tuolloin tehtiin pitkäaikainen projektisuunnitelma, jonka mukaan loppusijoituksen paikanvalinta tehdään ja tehtiinkin vuonna 2000 ja rakentamislupahakemus jätetään vuonna 2010, josta viivästyttiin kaksi vuotta. Loppusijoituskonseptia oli jo pitkään kehitetty ja testattu yhteistyössä Ruotsin SKB:n (Svensk Kärnbränslehantering AB) kanssa ja tämä yhteistyö jatkuu edelleen.

Eriyisen edistyksellistä meillä Suomessa on loppusijoituksen tutkimustila ONKALO, jota on tehty vuodesta 2004. Muissa maissa tutkimustila ja loppusijoitustila ovat kaksi eri asiaa, meillä tarkoituksena on liittää ONKALO osaksi loppusijoituslaitosta, mikä antaa meille selkeää aikatauluetua, mm. Ruotsiin verrattuna. Olemme perustellusti ylpeitä ONKALosta, vierailu siellä on vaikuttava kokemus kenelle tahansa. Valtioneuvoston marraskuun 12. päivänä viime vuonna myöntämää rakentamislupaa voidaan pitää arvokkaana tunnustuksena yli 40 vuoden tutkimustyöstä.

Loppusijoituskonseptista

Olen ymmärtänyt, että sikäli kuin loppusijoituslaitos sattuisi olemaan vettä, pyritään arvioimaan laskennallisesti, ettei lämpötila kuparikapselin ympäristössä nouse sataan Celsius-asteeseen.

Näin juuri. Kun otin tehtävän Posivan toimitusjohtajana vastaan, halusin perehtyä siihen, mistä loppusijoituksessa on kyse. Pitkälti kyse on käytetyn ydinpolttoaineen passiivisesta jäähdytysjärjestelmästä. Olkiluodon KPA-väliarastossa tarvitaan vettä, sähköä ja prosessia siihen, että käytetty ydinpolttoaine jäähtyy. Loppusijoituslaitos idea on, että käytetty polttoaine jäähtyy kapselin ja puskurin kautta kallioon. Strategian toinen tavoite on, että loppusijoituslaitos on suoja security-tyyppisen turvallisuuden näkökulmasta katsottuna, seikka mitä me Suomessa emme välttämättä niin hyvin ymmärrä. Siis se että käytetystä ydinpolttoaineesta täytyy pitää huolta, jottei kukaan ulkopuolinen voi päästä siihen käsiksi.

Rakentamisluvassa ja sen osana STUKin lausunnossa tavoite on selkeä: kun kaikki käytetty polttoaine on loppusijoitettu ja tunnelit ja luolasto täytetty bentoniittisavella, niin sen jälkeen loppusijoituslaitos suljetaan ja se on siitä eteenpäin 450 metrin syvyydessä normaalitilassaan, hyvässä suojassa, passiivisena ja pysyvästi. STUKin rakentamislupalausehdotuksessa suunnitteluperusteena on, että loppusijoitus-

tila ei sulkemisen jälkeen tarvitse mitään erityistä valvontaa, mittausta tai muuta jatkuvaa toimenpidettä eikä kenenkään tarvitse valvoa sitä seuraavia satoja vuosia.

Jotkut geologit ovat argumentoineet, että 450 metrin syvyys ei ole riittävä loppusijoitukselle. Kun aikanaan tulee seuraava jääkausi, niin se saattaa viedä mukanaan maakerroksia aina loppusijoitustilan syvyyteen asti.

Vuosien aikana on esitetty erilaisia väitteitä. Turvallisuusperustelutyössämme onkin kyse rakentamisluvan mukaisen ratkaisun pitkäaikaisturvallisuudesta. Pyrimme mallintamaan, miten maailma ehkä muuttuu vuosituhansien varrella. Laskemme erilaisia skenaarioita, mitä voi tapahtua ja mitä siitä ehkä seuraa ja tapahtuuko jotain vaarallista. Kaikissa skenaarioissa olemme pystyneet esittämään, että loppusijoituskonseptimme on turvallinen.

Turvallisuusarvioinnin nimenomainen perusajatus on, että loppusijoituksessa on monta erillistä vapautumisestettä. On polttoaineen suojakuori, polttoaine-elementti ja kuparikapseli. Kapselin ulkopuolella on savimateriaali bentoniitti ja sen ulkopuolella kallio. Bentoniitti täyttää kapselin ja kallion seinämien välisen tilan ja suojaaa siten kapselia kalliosta olevalta vedeltä, jota aina on kallioperässä.

Voi kysyä, kuinka mielekästä on huolehtia tai huolestua siitä, kestääkö loppusijoitustila sataatuhatta vuotta? Vaatimus on mahdottomuus, mission impossible, mitä kukaan ei voi vakuuttaa oikeaksi. Oli miten oli, milloin ydinjäte alkaa olla riittävän lähellä ympäristön säteilytasoa?

Kuten kaikessa säteilyssä, niin missä on suurin aktiivisuus, siinä myös puoliintumisaika on nopeinta. Onhan käytetty polttoaine tuhannen vuoden päästä jo merkittävästi vaarattomampaa nykyiseen nähden. Meidän tehtävämme Posivassa on taata turvallinen loppusijoitus.

Palautettavuudesta

Käytetyn polttoaineen loppusijoitusprosessiin tuli myös mielenkiintoinen lisävaatimus, vihereät sitä muistaakseni esittivät, että loppusijoituksen pitää olla palautettavissa. Mitä vaatimus mahtaa tarkoittaa käytännössä ja mikä sellaisessa voisi olla strategiana?

Lähtökohta on, että kun käytetty polttoaine loppusijoitetaan, niin se tehdään pysyvästi. Eli kyse on pitkäaikaisturvallisesta konseptista, ei välivarastosta. Mutta kun kerran olemme kallion louhineet, niin tottahan me kuivuneen ja kovettuneen bentoniittisavenkin pystymme louhimaan pois. Kuparikapselissa on olakkeet, joten senkin pystyy nostamaan pois. Ei palau-

tavuus mikään helppo eikä edullinen tapa ole, mutta mahdollista se on toteuttaa. Se on suunnitteluperuste.

Minulle tulee palautettavuuden suhteen mieleen sellainen konemiehen viisaus, että kun rakennetaan auto ja jos se puretaan, niin se puretaan päinvastaisessa järjestyksessä osiinsa. Miksi ei ole ajateltu, että käytetty ydinpolttoaine-elementti purettaisiin osiinsa, jolloin uraanipelletit saataisiin pois paljon pienemmässä tilavuudessa ja ne kelpaisivat myös jälleenkäsiteltäväksi. Tietysti prosessiin liittyisi turvallisuus- ja säteilysuojeluaasteita, mutta ongelman hoituisivat roboteilla. Me oltaisiin vain kaffeella jossain ja annettaisiin robottien hoitaa homma turvallisesti.

Varmasti näinkin. Mutta onhan ydinvoiman yleinen vahvuus, että käytettyä polttoainetta syntyy aika vähän. Olkiluodossa on yli 30 vuotta tehty kahdella laitosyksiköllä melkein 20 % Suomen sähköstä. Käytetyn polttoaineen väli-varaston vesialtaissa oleva polttoaine-elementtien määrä ei ole mitenkään iso ja vuosittainen tuotannon määrä on käytännössä noin 20–30 kuparikapselin verran.

Vientinäkömistä ja tutkimustoiminnasta

Posivan käsittelylaitteet ovat kotimaista valmistusta. Saadaanko niistä vientituotteita?

Tulimme syksyllä julkisuuteen tiedottamalla, että Posivan palveluiden myyntiä valmistelaan. Uskomme, että meillä on mahdollisuus vientiin. Mutta miten sen tuotteistamme tilanteessa, missä muut maat ovat varsin paljon meitä jäljessä? Ensin on varmaan strategista konsultointia ja ohjelman tekoa, seuraavaksi turvallisuusarviointia ja erilaista suunnittelua. Teemme työtä yhdessä suomalaisen verkostomme kanssa, se on tässä tärkeää.

Emme myy pelkästään Posivan omaa osaamista, vaan tarkoituksemme on samalla

myydä Posivan loppusijoitusprojektin suomalaisten alihankkijoiden kuten VTT:n, Saanio & Riekkolan ja Pöyryn osaamista. Mutta menee vielä useampi vuosi, ennen kuin suunnittele-miamme ja suomalaisten konepajojen tekemiä laitteita voidaan kaupallisesti myydä. Muissa maissa ollaan vasta paikanvalintavaiheessa tai sen jälkeisessä luvitusvaiheessa. Me olemme 10–20 vuotta sitten tehneet niitä asioita, joita nyt voitaisiin myydä.

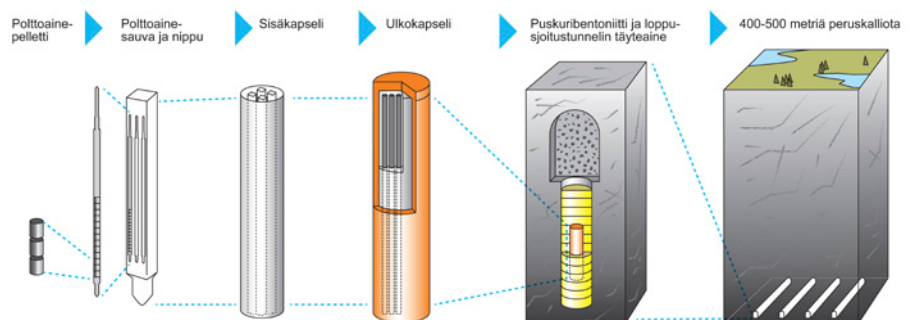
Onko näköpiirissä, että joissakin maissa samantyyppinen ratkaisu kuin Suomessa ja Ruotsissa voisi olla todennäköinen? Se että peruskallio on niin hyvälaatuista, että se käy loppusijoituspaikaksi?

Sellaisia maita löytyy, Euroopassa varsinkin. On pari kolmekin vaihtoehtoa, joissa loppusijoitus kovaan kallioon on mahdollista. Sitten esimerkiksi Ranskassa on loppusijoitukseen soveltuvia alueita, joissa on maan alla hyllyvää savimateriaalia. Jotta valitsemamme konseptia voitaisiin soveltaa toisaalla, loppusijoitusohjelmaa pitää suunnitella ja selvittää miten se rahoitetaan sekä mitkä ovat kriteerit turvallisuudelle loppusijoitukselle. Ja vasta sitten voidaan miettiä, miten käyttämämme konseptia pitäisi muokata paikallisiin olosuhteisiin. Eli ei tällaista projektia voi suoraan kopioida. Joka maassa on eri olosuhteet, joten ne ovat aina eri projekteja.

Mitä omaa tutkimustoimintaa Posivalla on?

Yhdessä tätä tutkimusta koko ajan tehdään. Posivalaisia, Posivalle töitä tekeviä TVO:laisia ja kumppaneita yhteistyöyrityksissämme on lähemmäs kaksi sataa ihmistä. He tekevät päivittäin työtä Posivalle. Omistajamme itse tutkivat loppusijoituksen eri vaihtoehtoja, me Posivassa emme niitä kovin paljoa mieli. Sen sijaan meillä on meneillään tutkimusprojekti, jossa loppusijoitus toteutettaisiin vaakasijoituksena.

Pystysuoria loppusijoitusreikiä käsittävän tunnelin sijaan tehtäisiinkin noin 300



Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen moniesteperiaate.



Ilmakuva vuodelta 2015 Posivan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitospaikasta Olkiluodossa.

metriä pitkä vaakatunneli. Käytetyn polttoaineen sisältävä kuparikapseli pantaisiin erityisen teollisesti valmistettavan asennuspakkauksen sisälle ja pakkaukset työnnettäisiin lopulta peräkkäin vaakatunneliin. Säteilysuojelullisestikin tämä olisi hyvä ratkaisu, koska silloin päästäisiin työskentelemään lähemmäksi, kun asennuspakkauksin eristäisi säteilyä jonkin verran.

Ydinjätehuollon rahoituksesta

Kiinnitin kertomassasi huomiotani rahan keruuseen. Tarkoitatko sitä, kuinka esimerkiksi Suomessa on käytäntö, että jokaisesta kilowattitunnista kerätään rahaa ydinjätehuolto-rahastoon? Suomihan on lainsäädännöllisesti ollut edelläkävijöitä ydinjätehuollon rahoituksessa, on oltu kaukoviisaita.

Kyllä. Osassa maista ei olla välttämättä oltu näin viisaita. Joissain maissa on eräänlaisia valtion rahastoja eli raha on otettu voimayhtiöltä. Mutta siitä en tiedä, onko raha pantu erilliseen rahastoon vai onko se osa valtion tasetta. Käytetyn polttoaineen loppusijoitus on osa tätä koko vastuullista ydinenergian käyttöä Suomessa. Tälle alalle myöhemmin tullessa en voi muuta kuin kiittää vanhaa ydinenergia-alan sukupolvea, joka on aikoinaan miettinyt, miten tämä homma pitää tehdä. On tehty järjeviä pitkän tähtäimen suunnitelmia, joita sitten on myös toteutettu. Senhän vuoksi me olemme nyt maailman ensimmäisenä maana tässä vaiheessa käytetyn ydinpolttoaineen lop-

pusijoituksessa. Ydinjätehuolto-rahastoon on kerättyä lähes kaksi ja puoli miljardia euroa.

Loppusijoitusratkaisun elinkaaresta

Kun kysyit, miten Posivassa suunnittelemme vievämme loppusijoitushanketta eteenpäin, niin ensinnäkin rakentamisluvan saaminen on merkittävä asia. Nyt meillä on loppusijoitusratkaisu, eli olemme kehittäneet loppusijoituskonseptin ja STUK on arvioinut sen turvalliseksi. Olemme tehneet paikkatutkimuksen ja lounheet tutkimustila ONKALON. Eurajoki on valittu turvalliseksi loppusijoituspaikaksi. Lisäksi olemme kehittäneet kaikki tuotannon prototyyppilaitteet, joita käyttäen tuotantoa pystytään tekemään. Tällainen loppusijoitusratkaisu meillä nyt on ja seuraava vaihe Posivan elinkaaresta on loppusijoitus-hanke.

Rakentamisluvan saamisen jälkeen nyt alkava projekti päättyy aikanaan siihen, että olemme rakentaneet kaikki tarvittavat laitteistot ja laitokset ja voimme aloittaa loppusijoituksen. Pojoktin päätösvaiheeseen on lisäksi sisällytetty yhden vuoden kestävä loppusijoitus. Projektin päätyttyä alkaa Olkiluoto 1:n ja 2:n sekä Loviisa 1:n ja 2:n käytetyn polttoaineen loppusijoitus, kestoiltaan 40-50 vuotta. Sen jälkeen alkaa Olkiluoto 3:n käytetyn polttoaineen loppusijoitus ja viimeiseksi loppusijoituslaitoksen sulkeminen. Tässä on Posivalle hyvin selkeä elinkaari 2100-luvun alkuvuosikymmenille.

Fennovoiman ydinjätehuollosta?

Pakko vielä kysyä myös Fennovoiman jätteisiin liittyvää asiaa. Onko teillä minkälaisia visioita heidän ydinjätehuoltoonsa järjestämisestä?

Palveluita me kyllä pystymme myymään. Fennovoima on hankkeessaan vielä varsin alkuvaiheessa, joten se voisi halutessaan ostaa meiltä palvelua: miten hanketta lähdetäisiin suunnittelemaan ja mitä pitäisi tehdä. Mutta että mihin ja millä tavalla, niin se tietysti on Fennovoiman asia.

Yksi palvelun tapa on, että te hoidatte heidän jätteensä. Sehän olisi kaupallista palvelua myöskin.

No joo, mutta meillä ei ole mitään sellaisia suunnitelmia, vaan aidosti kädet täynnä tekemistä omassa loppusijoitushankkeessamme, tehtävänäme on loppusijoituksen aloittaminen turvallisesti ja kustannustehokkaasti omistajillemme. Suomessa vastuu käytetystä polttoaineesta on laitosta käyttävällä voimayhtiöllä. Posivan tapauksessa omistajat ovat synergiasyistä perustaneet yhteisen yhtiön huolehtimaan niiden käytetystä ydinpolttoaineesta. Siitä huolimatta TVO ja Fortum ovat vastuussa tuottamastaan käytetystä ydinpolttoaineesta.

Loppusijoituslaitoksen vastuun siirrosta valtiolle

Kuinka pitkälle tulevaisuuteen vaatimus voimailaitosoperaattoreiden vastuusta kestää? Ei se aikojen loppuun asti voi kestää, eihän sellaista voi tietääkään. Yhtiöiden toiminta voi loppua. Missä vaiheessa valtio ottaa loppusijoituslaitoksen vastuulle?

Tarkoitus on, että velvollisuus on hoidettu, kun loppusijoitus on toteutettu turvallisesti ja turvallisessa paikassa. Siksihan loppusijoitus halutaan, että sen toteuttamisen jälkeen vastuun siirto on mahdollinen. Aika monessa maassa loppusijoitusta ei kiirehdi vaan katsotaan miten asiat etenevät. Onhan suomalainen tapa vastuullinen: loppusijoitusta ei jätetä seuraavien sukupolvien hoidettavaksi, vaan se hoidetaan.

Tuo on hyvä pointti! Me nimittäin jätämme seuraavalle sukupolvelle kaikki ne ongelmamme, joita emme nyt hoida. Emme kai voi tehdä muuta kuin hoitaa asiat niin perusteellisesti ja todentaen kuin tiede ja tekniikka mahdollistavat. Loppusijoituslaitoksen lopullinen sulkeminen on 2100-luvun alkupuolella, sen jälkeen kun viimeiset jätemäärät on loppusijoitettu. Ellei ydinvoiman käyttö sitten jatku edelleen? Kiitos haastattelusta!

The Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform (IGD-TP)

Main achievements in 2015 and way forward

Monica Hammarström¹, Jacques Delay², Raymond Kowe³

¹SKB, Stockholm, Sweden, ²Andra, Bure, France, ³RWM, Harwell Oxford, United Kingdom

After decades of bilateral and multilateral cooperation, several European waste management organizations decided, under the auspices of the European Commission (EC), to join forces to tackle the remaining research, development and demonstration (RD&D) challenges associated with the implementation of their respective geological disposal programmes. This paper presents the organisation of the work and the achievements of the platform to date. The majority of this work (projects and activities) has been initiated by the IGD-TP members supported by the European Commission.

Vuosikymmenten monimuotoisen yhteistyön jälkeen, eurooppalaiset jätehuollosta vastaavat organisaatiot päättivät Euroopan komission tuella yhdistää voimansa jäljellä olevien tutkimus ja kehitys sekä demonstraatio (TK&D) haasteiden ratkaisemiseksi ohjelmissaan, jotka tähtäävät geologiseen loppusijoitukseen. Tässä artikkelissa esitellään yhteisön toimintaa ja tähänastisia saavutuksia. Pääosa konkreettisesta työstä on tehty komission tukemana IGD-TP:n jäsenorganisaatioissa.

The Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform (IGD-TP) was launched in November 2009 with a “Vision” (The Vision Document [1]) that “by 2025, the first geological disposal facilities for spent fuel, high-level waste and other long-lived radioactive waste will be operating safely in Europe”.

Thus, the main objectives of the IGD-TP are to initiate and carry out collaborative actions to tackle the remaining research, development and demonstration (RD&D) challenges with a view to advancing the implementation of geological disposal programmes for high-level and long-lived waste in Europe.

Six years after its inception, the IGD-TP is recognised by the nuclear industry as the major body responsible for directing international RD&D in radioactive waste geological disposal programmes. The platform takes into account differences between the timing and challenges for the respective national programmes.

This paper presents the organisation of the work and the main Joint Activities and projects to date, initiated by the IGD-TP members and for many of which are supported by the European Commission under the FP7 framework programme and under the Horizon 2020 programme.

Concept of the IGD-TP

Various European technology platforms (ETPs) were initiated starting from 2003, as industry-led stakeholder forums with the aim of defining medium to long-term research and technological objectives and developing roadmaps. Their aim was to contribute to increasing synergies between different research actors, ultimately enhancing European competitiveness.

The main objectives of the IGD-TP are to initiate and carry out collaborative actions in Europe to facilitate the stepwise implementation of safe, deep geological disposal of spent fuel, high-level waste, and other long-lived radioactive waste by solving the remaining scientific, technological and social challenges, and thereby supporting the waste management programs in the Member States.

The Vision Document [1] presents the IGD-TP participants' commitments which are to (i) build confidence in the safety of geological disposal solutions among European citizens and decision-makers, (ii) encourage the establishment of waste management programs that integrate geological disposal as the accepted option for the safe long-term management of long-lived and/or high-level waste and (iii) facilitate



Figure 1. Five full scale demonstrators were partly or wholly implemented within DOPAS project, which is coordinated by Posiva. DOPAS has provided opportunity for waste management organisations and researchers to discuss the experiment details. One of the DOPAS work package meetings was organised in France, where Full Scale Seal (FSS) experiment by Andra and Nagra, was implemented. (Photo: Andra)

access to expertise and technology and maintain competences in the field of geological disposal for the benefit of Member States.

Organisation of the platform

As of January 2016, the IGD-TP's work is driven by ten Waste Management Organizations (WMOs) and one governmental body which constitute the Executive Group (EG) of the platform. The members of the EG are organisations either being responsible for implementing a nuclear waste management programme or being formally responsible for a Research Development and Demonstration (RD&D) programme needed for implementation. The EG is responsible for setting up working groups as required. The IGD-TP's EG work is supported by a Secretariat run by two EG member organisations at any one time.

At the end 2015, the IGD-TP has 125 participating organizations endorsing the vision. They represent stakeholders with a wide range of

backgrounds e.g. waste management organizations, industry, research institutes, research centres and academia.

IGD-TP participants endorsing the vision and thereby showing their willingness to contribute positively and constructively to the objectives and goals of the platform are invited to an annual Exchange Forum meeting (EF). They also have access to a restricted extranet for information and discussion. Furthermore, they are invited to seminars where they can give early input to documents under development and are allowed to comment on IGD-TP documentation before publication. Other entities not endorsing the vision can attend the annual Exchange Forum meeting if they so desire to learn more and participate.

Strategic Documents

IGD-TP has reached consensus agreement on a common vision and established a Strategic Research Agenda (SRA). In addition, IGD-TP has developed an implementation plan called the "Deployment Plan"



Figure 2. Staff exchange programme was conducted within DOPAS and consortium organisations could send their experts to spend a week in an Experiment site sharing the practical experiences from the DOPAS tests. POPLU deposition tunnel end plug experiment was implemented in ONKALO demonstration area during 2013–2014 and staff exchange was arranged in June 2015. (Photo: Posiva)

(DP) detailing the actions required for implementing the SRA. This deployment plan is updated on a yearly basis.

The Strategic Research Agenda [2], published in July 2011, emphasizes those RD&D activities that are critically important for the programmes closest to licensing but which, at the same time, produce results that are also useful and of interest for other participating programmes. The strategy for the joint RD&D interest was organized into seven Key Topics comprising of a total of 37 individual Topics. The majority of the Topics concentrate on the “Technical feasibility and long-term performance of repository components” reflecting the maturity of the repository development in the waste management programmes closest to licensing. Additionally Cross-Cutting Activities (CC) and Waste Management program Specific activities (WMS) have also been identified.

The Deployment Plan (DP) [3] was published in June 2012. It addresses the Joint Activities that were derived from the SRA’s Topics and which are currently active or will start during the period 2011-2016. The key information in the DP consists of the first Master Deployment Plan (2011-2016) presented in a timetable and decision-making forms and Joint Activities outline. This Master Deployment Plan is updated annually according to decisions made that year by the IGD-TP’s

Executive Group. The Master Deployment Plan 2015 was published in July 2015 [4]

Implementation of the activities

The collaboration in the IGD-TP has initiated a total of 16 Joint Activities. The various Joint Activities have developed since 2009 a total of 8 EC FP7 co-funded Technical Projects and one Coordination and Support Action. In 2015, three Technical Projects and one Coordination and Support action have been granted in the framework of the first H2020 call. These Joint activities and the associated projects are detailed in the yearly Master Deployment Plan [4].

One of the Technical Projects is DOPAS (Full-Scale Demonstration Of Plugs And Seals) aiming to improve the adequacy and consistency regarding industrial feasibility of plugs and seals, the measurement of their characteristics and the control of their behavior over time in repository conditions and also their hydraulic performance acceptable with respect to the safety objectives. In Figures 1 and 2 are some illustrations of DOPAS experiments.

The deployment of the Joint Activities has reached a stage where it was necessary to carry out an assessment on the state-of-the art of

the IGD-TP's SRA. This work has been completed in early 2015 and the result of this SRA analysis, published in 2015, is paving the way for future developments [5].

At the end of 2015, during the 6th Exchange Forum held in London [6], 4 working groups have discussed potential new technical proposals that could be submitted in October 2016 as proposal in the framework of the second H2020 call.

Conclusion

In line with the SRA Key Topics and the DP, IGD-TP has currently set up 16 working groups related to Joint Activities. In addition, 9 FP7 EU projects and 4 Horizon 2020 projects, launched after the IGD-TP creation, are carried out by members and their progress and outcomes are reported three times a year in Executive Group meetings.

In addition, four groups are actively preparing project proposals which could be ready for submission to the second Horizon 2020 call in 2016. The role of Finland in the FP7 and H2020 projects is described in a separate article by VTT and Posiva within this journal issue.

Recently, IGD-TP has strengthened its organization through the Secretariat by (i) involvement of new member states through guidance for development of RD&D, (ii) networking with other TPs such as SNETP to stimulate new ideas that could complement the SRA in view

of the disposal of new waste types, and (iii) collaboration with other European projects such as SITEX, to define new grounds for interacting with the regulatory bodies, including Technical Support Organisations (TSO)s and Research Entities not directly involved in the implementation of a geological disposal or in the licensing process.

Furthermore, the IGD-TP organized an international conference on geological disposal in June 24–26, 2014 in Manchester which focused on themes based on the topics in the SRA, raised in the IGD-TP Exchange Forums and the perceived needs raised by the less advanced programs.

Finally, within the European geological disposal community, the IGD-TP is expected to create opportunities to carry out joint Research Development and Demonstration of safe solutions in geological disposal of radioactive waste. The work on increasing knowledge and overall level of competence in the field leads to improvements in technology.

Acknowledgements

The authors wish to thank the European Commission. The research leading to these results has received funding from the European Union's European Atomic Energy Community's (Euratom) Seventh Framework programme FP7 (2007–2013) under grant agreements n°249396, SeclGD, and n°323260, SeclGD2

References

- [1] EUR24160 EN – Implementing geological disposal Of radioactive Waste Technology Platform – Vision Report – Luxembourg: publications Office of the European Union 2009-48pp.; ISBN 978-92_79-13622-1; ISSN 1018-5593; doi 10.2777/53840.
- [2] IGD-TP SRA2011 – IGD-TP Implementing Geological Radioactive Waste Technology Platform Strategic Research Agenda 2011; July 2011; ISBN 978-91-979786-0-6.
- [3] IGD-TP DP2011 – IGD-TP Implementing Geological Radioactive Waste Technology Platform – Deployment Plan 2011–2016.
- [4] IGD-TP D1.5.2 Master Deployment Plan and Joint Activities outlines 2015 – Implementing Geological Radioactive Waste Technology Platform (IGD-TP).
- [5] IGD-TP D 1.7 Strategic Research Agenda – Main Achievements and Way Forward.
- [6] IGD-TP Exchange Forum n°6 November 3–4, 2015 London, UK Presentations and outcomes.

Writers:



Mrs. Monica Hammarström
Chair of the IGD-TP Executive Group
SKB
Stockholm, Sweden
monica.hammarstrom@skb.se



Mr. Jacques Delay
IGD-TP Secretary general
Andra
Bure, France
jacques.delay@andra.fr



Dr. Raymond Kowe
IGD-TP Assistant Secretary
RWM
Harwell Oxford, United Kingdom
raymond.kowe@nda.gov.uk

Diplomityö: Aprosin moniryhmänodaalidiffuusiomallin kehittäminen ja validointi

Antti Rintala, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Diplomityössä jatkettiin prosessisimulointiohjelmisto Aprosin moniryhmänodaalidiffuusiomallin tasapaino- ja transienttilaskennan kehittämistä sekä validoitiin kyseiset laskentamallit. Mallia voidaan käyttää neljännen sukupolven nopeiden reaktorien neutroniikan simulointiin.

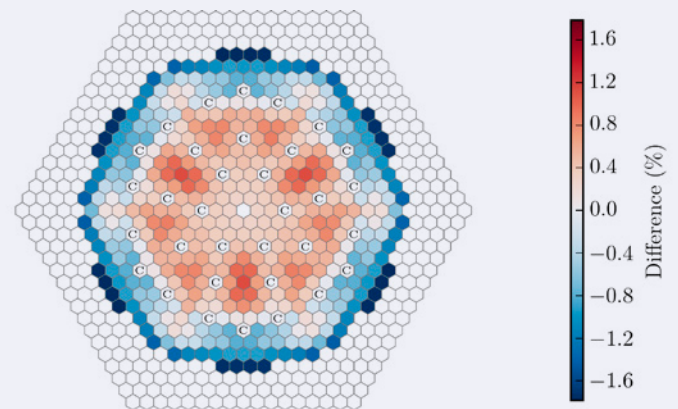
In this master's thesis the development of a steady state and transient multigroup nodal diffusion model for process simulation software Apro was continued and the models were validated. The model can be used to simulate the neutronics of Generation IV fast reactors.

Neljännen sukupolven ydinreaktorien tavoitteena on tulevaisuuden kestävä, taloudellinen, turvallinen sekä ydinaseiden leviämistä estävä ydinenergian tuotanto. Generation IV International Forum on valinnut jatkokehittäväksi kuusi eri reaktorityyppiä, joista kolme ovat niin sanottuja nopeita reaktoreita. Toisin kuin nykyään yleisimmin käytössä olevissa termisissä reaktoreissa, nopeissa reaktoreissa neutroneita ei hidasteta. Nopeilla reaktoreilla on monia mahdollisia termisistä reaktoreista eroavia ominaisuuksia, kuten esimerkiksi mahdollisuus polttoaineen hyötämiseen tai käytetyn ydinpolttoaineen pitkäikäisten nuklidien vähentämiseen.

Termisissä reaktoreissa neutronien energiariippuvuus kuvataan laskennallisesti yleensä kahdella energiaryhmällä. Nopeille reaktoreille tämä kuvaus ei yleensä ole riittävä, vaan energiaryhmiä tarvitaan useampia. Koska Aprosin tämänhetkessä julkaisuversiossa olevat neutroniikkamallit ovat kaksiryhmäisiä, ei niitä voida käyttää nopeiden reaktorien mallintamiseen. Nopeiden reaktorien mallintamisen mahdollistamiseksi Aprosiin on alun perin vuonna 2009 toteutettu tasapainolaskennan sisältävä moniryhmänodaalidiffuusiomalli. Mallin kehittämistä on jatkettu tämänkin jälkeen, mutta se ei ole ollut jatkuva.

Mallin kehittäminen

Diplomityön aikana mallin olemassa oleva lähdekoodi käytiin perusteellisesti läpi löydetty virheet korjaten. Transienttimallin ratkaisumenetelmä johdettiin työn aikana sekä sen tasapainomallista



Kuva 1: Ison oksidipolttoaineisen natriumjäähdytteisen nopean reaktorin nipputehojen suhteellinen ero Aprosin ja Serpentin välillä kaikkien säätösauvojen ollessa ulkona sydäimestä. Erot ovat -1,79% ja 1,14% välillä.

erilliset ohjelmakoodin osat kirjoitettiin lähes kokonaan uudestaan. Transienttimallin aikaratkaisumenetelmä perustuu neutronivuon aikaderivaatan implisiittiseen diskretointiin. Noodien sisäinen paikka- ratkaisumenetelmä on pienin muutoksin yhtenevä tasapainomallin

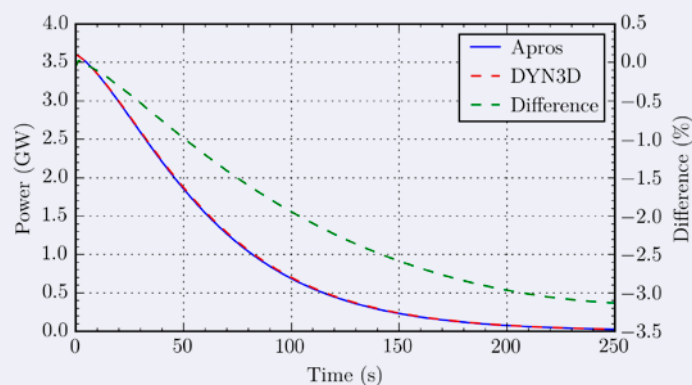
kanssa. Työn aikana malliin lisättiin myös joitain ominaisuuksia, kuten transienttimallin neutronivoiden aikaekstrapolaatioon perustuva konvergenssin kiihdytysmenetelmä sekä äärellisen pituisten säätösauvojen mallinnus.

Validointilaskut ja tulokset

Tasapaino- ja transienttimallien toteutusten oikeellisuuden sekä tarkkuuden validointilaskuissa käytettiin kahta eri natriumjäähdytteistä reaktorimallia. Laskuissa ei huomioitu termohydrauliikkaa. Vaikutusalat käytettyihin deterministisiin nodaalidiffuusiokoodeihin laskettiin jatkuvaenergisellä Monte Carlo -reaktorifysiikkakoodi Serpentillä.

Tasapainomallin toteutuksen oikeellisuutta verrattiin DIF3D-koodiin, jonka ratkaisumenetelmään tasapainomalli perustuu. Saadut tulokset olivat erittäin yhteensopivia, joten malli on oikein toteutettu. Tasapainomallin tarkkuutta verrattiin Serpent-kokosydänlaskuihin. Kasvutekijöiden erot olivat suhteellisen suuria, kun taas tehojakamien erot olivat hyväksyttävällä tasolla.

Transienttimallia verrattiin DYN3D-koodin moniryhmäversioon kolmella eri säätösauvojen liikkeellä. Reaktorin kokonaistehojen aikakehitykset olivat samankaltaisia koodien välillä. Askelmaisen säätösauvojen noston simuloinnissa absoluuttiset erot olivat suurehkoja, vaikkakaan suhteelliset erot eivät olleet suurempia kuin hitaan säätösauvojen laskun simuloinnissa. Suhteellisten aksiaalitehojen erot olivat pieniä koodien välillä. Erojen voidaan todeta johtuvan koodien ratkaisumenetelmien eroista, joten transienttimalli on myös oikein toteutettu ja tuottaa samankaltaisia tuloksia kuin DYN3D.



Kuva 2: Ison oksidipolttoaineisen natriumjäähdytteisen nopean reaktorin kokonaisteho kaikkien säätösauvojen hitaan laskun simuloinnin aikana laskettuna Aprosilla ja DYN3D:llä, sekä näiden välinen suhteellinen ero.

Yhteenveto

Diplomityön jälkeen Aprosiin on toteutettu perusominaisuuksiltaan toimiva tasapaino- ja transienttilaskennan sisältävä moniryhmänodaalidiffuusiomalli, joka on todettu toimivaksi. Mallille ehdotetaan useita jatkokehityksiä, kuten käytettävyyden parantamista ennen julkaisuversiota lisäämistä, monipuolista lisävalidointia sekä runsaasti ominaisuuksia, joilla mallin mallinnustarkkuutta ja mallinnuksen monipuolisuutta voitaisiin parantaa.

Opinnäytetyö on hyväksytty Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulussa 3.11.2015.

Kirjoittaja:



DI Antti Rintala

Tutkija

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

antti.rintala@vtt.fi

Recent Research and Technology Highlights for Finnish Implementation of Geological Disposal of Radioactive Waste

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

The European research community is actively working toward implementation of the first permanent geological disposal of spent nuclear fuel. Finland has been in a lead role in developing safe technologies, often in partnership with researchers and organizations worldwide. This article gives a synopsis of ten on-going or recently completed European projects where Finland, mainly Posiva and VTT as well as B+Tech Oy, has had an active role in scientific development. The projects have been supported by networks of the IGD-TP and contribute to Posiva's preparedness for implementing geological disposal.

Eurooppalainen tutkimusyhteisö työskentelee aktiivisesti toteuttakseen käytetyn ydinpolttoaineen geologisen loppusijoituslaitoksen ensimmäisenä maailmassa. Suomella on ollut johtava rooli kehitettäessä turvallisia teknologioita usein kuitenkin yhteistyössä kansainvälisten tutkijoiden ja organisaatioiden kanssa. Tässä artikkelissa tiivistetään kymmenen käynnissä olevaa tai äskettäin päättynyttä tutkimusprojektia, joihin suomalaiset organisaatiot, pääasiassa Posiva ja VTT sekä and B+Tech Oy, ovat osallistuneet. IGD-TP:n verkostot ovat tukeneet projekteja joiden tulokset vaikuttavat Posivan loppusijoituskonseptin valmiuteen.

For over 30 years there have been continuous investments towards research and technology development that is necessary for the safe implementation of radioactive waste management in Finland. The Finnish and European governments, regulatory bodies and nuclear power plant owners have supported research to reduce uncertainties about waste management, in fields such as site characterization, engineered barrier systems (EBS), materials, design, monitoring, construction and safety. One of the primary areas for international cooperative research is the Euratom project, which has been administered by the European Commission within the Seventh Framework Program (FP7) and Horizon2020 [1] over the past few years.

The article gives a summary of some of the key projects that are underway or recently completed in Finland within the Euratom program for waste management. Most of these projects are directly contributing to the waste management program of Posiva Oy and have been developed with their needs in mind. Many of these projects have often been formulated based in initial discussions within the Implementing Geological Disposal Technology Platform (IGD-TP) [2], where Posiva serves on the Executive Committee for directing research needs.

MODERN: The MoDeRn project (2009–2013) aimed at providing a reference framework for the development and possible implementation of monitoring activities and associated stakeholder engagement during

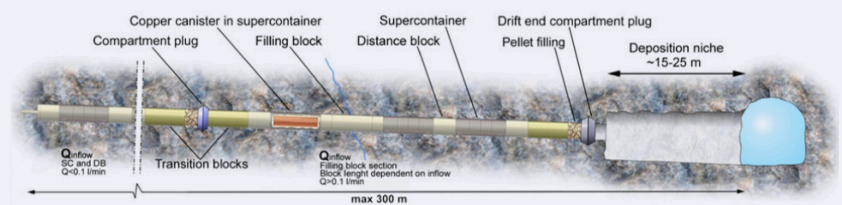


Figure 1. SKB's Horizontal Deposition in Crystalline Rock at Åspö Hard Rock Laboratory in Sweden, where equipment has been demonstrated in the LUCOEX project. (Figure: SKB)

relevant phases of the radioactive waste disposal process, i.e. during site characterisation, construction, operation and staged closure, as well as a post-closure institutional control phase.

The objective of the project was to develop monitoring aspects for disposal processes, including studying available technologies that can be implemented in a repository. The project also wanted to verify whether monitoring implementation strategies are able to address expert and lay stakeholder expectations. The project was coordinated by Andra in France and had 18 partners, including Posiva Oy.

FORGE: FORGE project "Gas Generation and Transport in Support of Performance Assessment" was done in 2009–2013, addressing research issues associated with the generation and movement of repository gases. Of particular importance are the long-term performance

of bentonite buffers, plastic clays, indurated mudrocks and crystalline formations.

The project focused on experimental work to reduce uncertainty relating to the quantitative treatment of gas in performance assessment. FORGE conducted a series of laboratory and field-scale experiments, including the development of new methods for up-scaling, allowing the optimisation of concepts through detailed scenario analysis. The project was coordinated in the United Kingdom and Posiva Oy was a partner.

REDUPP: The REDUPP (2011–2014) project's goals were to investigate how surfaces of solids with a fluorite structure (UO_2 , ThO_2 , CeO_2 and CaF_2) change with time during dissolution and how those changes affect the dissolution rate. The project addressed the synthetic groundwater used in experiments, to accurately reflect chemical elements that occur in natural groundwaters. The project also improved methodologies used in laboratory experiments to accurately understand the dissolution rates.

The work has helped to reduce the uncertainties in the dissolution rate values to be used in the safety case and thereby increase the confidence that can be placed in the ability to demonstrate that the geologic repository will function as designed. The project was coordinated by SKB in Sweden and included participation of Posiva Oy and VTT. The project held its final workshop in Sweden in February 2014.

LUCOEX: The overall objective of the LUCOEX project (2011–2015) “Large Underground Concept Experiments” is to demonstrate the in-situ technical feasibility of equipment used for safe and reliable construction, manufacturing, disposal and sealing of repositories for long-lived high-level nuclear waste. The demonstration activities in the project have taken place in four different underground research laboratories (URL) in Europe, which have been constructed for the specific purpose of developing repository technology under repository-like conditions. The project has combined knowledge and practical experiences to develop the demonstration installations. The project was coordinated by SKB and included partners Posiva, Nagra and Andra.

The work in Finland was focused in Work-package 5 on development of KBS-3V deposition equipment, such as the buffer emplacement equipment which was designed and built, then demonstrated in ONKALO. Finland also gained valuable experience from the Multi-purpose test done in Sweden to demonstrate the feasibility and installation of the KBS-3H horizontal disposal concept. The project's ending workshop was held in Sweden in June 2015.

DOPAS: The DOPAS project about “Full-scale Demonstration of Plugs and Seals” is coordinated by Posiva Oy (2012–2016). It is built around a set of full-scale underground demonstrations, laboratory experiments and performance assessment studies. In Finland, the work has focused on the POPLU full-scale tunnel end plug 6 metres in length and diam-



Figure 2. Bentonite buffer installation equipment, as developed by Posiva Oy within the LUCOEX project. (Photo: Posiva Oy)

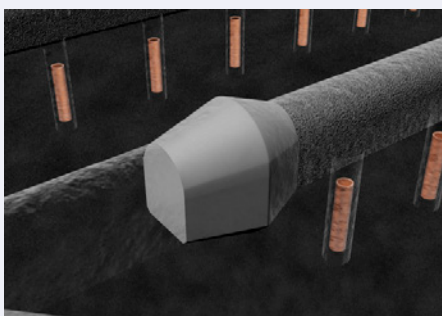


Figure 3. Posiva's EBS's barriers in the KBS-3V scenario, including the tunnel end plug as demonstrated within the DOPAS project. (Figure: Posiva Oy)

eter, which was constructed in summer 2015 and will be pressurized in 2016 to simulate the 100 year design life and performance response.

The research was on: developing low-pH concrete, modelling the plug's watertightness and structural response, monitoring of plug performance with 144 sensors and evaluating the design and safety requirements. The plug was the first full-scale EBS component demonstration at ONKALO, and supports Posiva's next phase of operational licensing to STUK. VTT and B+Tech Oy have been two of the fourteen project partners, together with Posiva Oy. The project will host a scientific conference May 25–27, 2016 in Turku.

BELBAR: The BELBAR project addresses the risks of bentonite erosion, specifically about “Effects on the Long Term Performance of the Engineered Barrier and Radionuclide Transport.” (2012–2016). The main aim of the BELBaR project is to increase the knowledge of the processes that control clay colloid stability, generation and ability to transport radionuclides.

The overall purpose of the project will be to suggest a treatment of these issues in the long-term safety assessment of repositories. The project is coordinated by SKB in Sweden and includes participation of Posiva Oy, VTT, University of Jyväskylä, University of Helsinki

and B+Tech Oy. VTT aims to create better modelling for wetting, swelling and erosion processes to be supported by microstructural studies. The project hosted a scientific conference February 3–4, 2016 in Berlin.

CAST: The CAST project (CARbon-14 Source Term, 2013–2018) aims to develop understanding of the generation and release of ^{14}C from radioactive waste materials under conditions relevant to waste packaging and disposal to underground geological disposal facilities. The project focuses on releases from irradiated metals (steels, Zircalloys) and from ion-exchange materials as dissolved and gaseous species.

CAST will provide a significant advance on the current understanding by obtaining direct experimental data for the rates of release of ^{14}C from these waste components, rather than relying on hypotheses based on assumptions about speciation and distribution and extrapolation from corrosion rate data that may be around the limit of detection. In addition, the speciation of released carbon will be determined and it will be necessary to develop and apply sensitive analytical techniques for ^{14}C in CAST to achieve this. These analyses will, in many cases, be the first direct measurements of speciation for these systems.

The scientific understanding obtained from these studies is being considered in terms of national disposal programmes and impact on safety assessments. The project is coordinated by NDA in the UK, and includes participation from VTT and Fortum Oy. The first training course of the project was being held in February 2016 in Germany.

MODERN2020: The objective of the project “Modern2020: Development and Demonstration of monitoring strategies and tech-

nologies for geological disposal” (2015–2019) is to provide the means for developing and implementing an effective and efficient repository operational monitoring programme, that will be driven by safety case needs, and that will take into account the requirements of specific national contexts (including inventory, host rocks, repository concepts and regulations, all of which differ between Member States) and public stakeholder expectations (particularly those of local public stakeholders at (potential) disposal sites).

Modern2020 will focus on monitoring of the near-field during repository operational phases. There are 28 organizations participating in Modern2020, including Posiva Oy and VTT. The project is coordinated by Andra in France. Finland’s objectives in the project are to prepare for the most advanced techniques that will be needed for monitoring EBS performance in ONKALO, including technologies such as wireless sensors, energy harvesting for power sources and ensuring full-scale demonstrations can have accurate performance assessment.

CEBAMA: The Cebama project entitled “Cement-based materials, properties, evolution, barrier functions” is a 4-year project (2015–2019) addressing key issues of relevance for long-term safety and key scientific questions related to the use of cement-based materials in nuclear waste disposal applications. The scientific/technical research of Cebama is largely independent of specific disposal concepts and addresses different types of host rocks, as well as bentonite.

Cebama is not focusing on one specific cementitious material, but aims at studying a variety of important cement-based materials in order to provide insight on general processes and phenomena which can then be easily transferred to different applications and projects. The ambition of Cebama is the development of a comprehensive model for predicting the transport characteristics such as porosity, permeability and diffusion parameters of cement-based materials in contact with the engineered and natural barriers of repositories in crystalline and argillaceous host rocks. Dedicated studies on radionuclide retention processes and on the impact of chemical alterations on these processes is part of this advanced approach.

There are 27 organizations participating in Cebama, including VTT. Posiva Oy is a beneficiary, serving on the End Users Group of the project. The Finnish work is focused on low-



Figure 4. The final cast plug, 6 metres in height at 420 metres underground at ONKALO, within the DOPAS project. (Photo: Erika Holt)

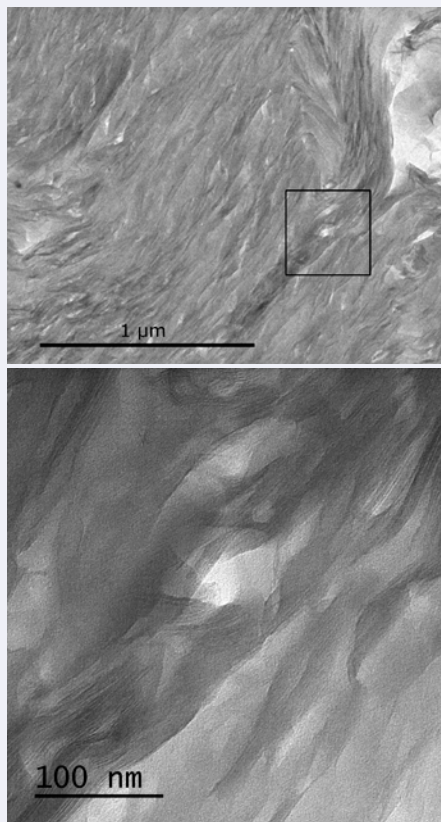


Figure 5. Examples from BELBAR project, with TEM images of Na-montmorillonite at dry density 1.5 g/cm³. The square in the top image is the area of the second image. (Figure: Michal Matusewicz, VTT)

pH cementitious materials used in ONKALO, including injection grouts and the tunnel end plugs. Experimental research and modelling are done to support Posiva’s needs for safety assessments of the EBS materials. The first project workshop will be held in May 2016 in Spain.

MIND: The MIND project (2015–2019) “Development of the safety case knowledge base about the influence of microbial processes on geological disposal of radioactive wastes” aims at understanding the influence of microbial processes on waste forms and their behaviour, and the technical feasibility and long-term performance of repository components. The concern is that the impact of microbial metabolism on the safety of geological repositories remains uncertain, as the microorganisms may have some influences on the waste form evolution in-situ, multibarrier integrity and ultimately radionuclide migration from the repository.

The project’s emphasis is on quantifying specific measurable impacts of microbial activity on safety cases under repository-relevant conditions, thus altering the current view of microbes in repositories and leading to significant refinements of safety case models currently being implemented to evaluate the long-term evolution of radwaste repositories. The integration of society and policy oriented studies in the project will also extend the impact of the project outside the scientific and technical domain, while a study of expert conceptualization, public perception and risk communication concerning microbial influences in geological disposal, will improve awareness of microbial issues on a broader level. The project is coordinated by SKB in Sweden and includes participation by Posiva Oy, TVO, VTT and the Geological Survey of Finland.

Conclusion and way forward

Finland has been active in European level-projects to support research and development towards implementing permanent geological disposal of nuclear waste. The European Commission supported 10 projects that were developed within the IGD-TP during the FP7 programme, with EC funding of approximately 43 M€. Finland was active in seven of these projects, each of which has been summarized in this article.

An additional three technological projects have been supported within the first round of the Horizon2020 funding calls, with Finland

researchers participating in all three of these projects (Modern2020, Cebama and MIND) that all started in summer 2015. Many of these projects have also had the role of engaging stakeholders and contributing to competence development of the next generation of nuclear experts. A deeper level of international partnership has also aided knowledge transfer and cooperation on similar challenges for nuclear waste management issues.

The next Horizon2020 call for Euratom projects has opened in November 2015, with applications due in October 2016. The topics under discussion range continue to address pending issues needed for high level waste management repository operation by Posiva Oy,

but also may pursue research on issues relevant to safer low- and intermediate-level storage. Active discussions are underway to continue implementation of the recent results and address pending questions needed for Finland's advanced nuclear waste management program.

Acknowledgements

The authors wish to thank the European Commission. The research leading to these results has received funding from the European Union's European Atomic Energy Community's (Euratom) Seventh Framework programme FP7 and Horizon2020.

References

- [1] [1] Euratom, Horizon 2020, EU Framework Programme for Research and Innovation. 2015. see <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/euratom>
- [2] [2] IGD-TP SRA2011 – IGD-TP Implementing Geological Radioactive Waste Technology Platform, Strategic Research Agenda 2011. July 2011. See www.igdt.eu

Writers:



Dr. Erika Holt

Principal Scientist, Programme Manager
VTT
Technical research Centre of Finland Ltd.
erika.holt@vtt.fi



Dr. Markus Olin

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



M.Sc. (Tech.) Tiina Jalonen

Director
Posiva Oy
tiina.jalonen@posiva.fi

Project	Duration	User Contact	Research Contact	Web page
MODERN	2009–2013	jere.lahdenpera@posiva.fi	–	www.modern-fp7.eu/
FORGE	2009–2013	kari.koskinen@posiva.fi	–	www.bgs.ac.uk/forge
REDUPP	2011–2014	marjut.vahananen@posiva.fi ville.salo@posiva.fi	kaija.ollila@vtt.fi , emmi.myllykyla@vtt.fi	www.skb.se/redupp/
LUCOEX	2011–2015	keijo.haapala@posiva.fi	–	www.lucoex.eu/
DOPAS	2012–2016	johanna.hansen@posiva.fi	erika.holt@vtt.fi , xavier.pintado@btech.fi	www.posiva.fi/en/dopas
BELBAR	2012–2016	kari.koskinen@posiva.fi	veli-matti.pulkkanen@vtt.fi , tim.schatz@btech.fi , markku.t.kataja@jyu.fi , pirkko.holttala@helsinki.fi	www.skb.se/belbar/
CAST	2013–2018	jari.tuunanen@fortum.fi , olli.nummi@fortum.fi	kaija.ollila@vtt.fi	www.projectcast.eu/
MODERN2020	2015–2019	jere.lahdenpera@posiva.fi	edgar.bohner@vtt.fi	www.modern2020.eu/
CEBAMA	2015–2019	marja.vuorio@posiva.fi	erika.holt@vtt.fi , markku.leivo@vtt.fi	www.cebama.eu
MIND	2015–2019	tuire.haavisto@tvo.fi , tiina.lamminmaki@posiva.fi	markus.olin@vtt.fi , merja.itavaara@vtt.fi	www.mind15.eu/

Väitös: Ydinpolttoaineen käyttäytyminen ja suojakuoren viskoelastinen vaste

Ville Tulkki, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Väitöskirjani "Ydinpolttoaineen käyttäytymisen ja suojakuoren viskoelastisen vasteen mallinnus" käsittelee ydinpolttoaineen mallinnusta kahden teeman kautta. Ensimmäisessä osassa tutkitaan polttoainekoodin herkkyyss- ja epävarmuustarkasteluihin käytettäviä metodeita ja aloitettiin epävarmuuksien kuljetukseen soveltuvan polttoainemallin kehitys. Työssä näytetään, etteivät perinteiset herkkyyssanalyysimetodit aina ota huomioon oleellisia tulosten epävarmuutta tuottavia vuorovaikutuksia. Väitöskirjan toisessa osassa kehitetään metodologia suojakuoriputken makroskooppisen vasteen mallintamiselle olosuhteiden muuttuessa. Mallin osoitetaan suoriutuvan hyvin virumis- ja jännitysrelaksaatiokokeiden kuvaamisessa.

The scope of my doctoral thesis "Modelling nuclear fuel behaviour and cladding viscoelastic response" consists of two main themes. In the first part the uncertainty and sensitivity of fuel behaviour codes is investigated and the development of a fuel module suitable for propagation of the uncertainties is detailed. It is shown that the conventional analysis approach may fail to take into account relevant sources of uncertainties due to the strong coupling of the models. The second part details a development of a simple methodology for predicting fuel cladding macroscopic response to stresses and imposed strains, taking anelastic behaviour into account. The model is shown to perform well in describing both creep and stress relaxation experiments.

Ydinreaktorin polttoaine koostuu keraamisista uraanidioksiditableteista, jotka on pinottu zirkoniumseoksesta tehdyn suojakuoriputken sisään. Polttoaine altistuu reaktorissa korkealle lämpötilalle, voimakkaalle neutronivuolle ja suurelle paineelle. Nämä muuttavat polttoaineen ominaisuuksia, ja polttoaineen käyttäytymisestä puhutaankin tarkoittaen polttoainesauvan vastetta reaktorin olosuhteille.

Ydinpolttoaine toimii radioaktiivisten isotooppien ensimmäisenä läviämisestään, ja polttoainesauvojen eheys takaa sen, ettei suuria määriä radioaktiivisia aineita pääse ympäristöön ydinpolttoaineen käsittelyn missään vaiheessa. Toisaalta polttoaineen käyttäytyminen vaikuttaa voimakkaasti reaktorin toimintaan erilaisten takaisinkytkentöjen vuoksi.

Polttoainekoodit kuvaavat ydinpolttoaineen termomekaanista käytöstä ja säteilyn aiheuttamia muutoksia. Väitöskirjassani "Ydinpolttoaineen käyttäytymisen ja suojakuoren viskoelastisen vasteen mallinnus" tarkasteltiin polttoainesauvan kuvausta multifysiikkaympäristössä ja kehitettiin malli suojakuoriputken virumisvasteelle jännityksen muutos-tilanteisiin.

FINIX ja polttoainemallien epävarmuudet

Osana väitöstyötä aloitettiin suomalaisen polttoainemallin FINIXin kehitys. FINIXin polttoainekuvaus on perinteinen 1,5-dimensioinen pyörähdyssymmetrinen, mutta se on kehitetty varta vasten helposti integroitavaksi polttoainemalliksi koodeihin joilla simuloidaan esimerkiksi

reaktorifysiikkaa tai -dynamiikkaa, parantaen näiden polttoainekuvausta. Fysikaalisesti oikeanlainen malli mahdollistaa myös epävarmuuksien kuljettamisen laskentaketjussa polttoainelaskennan yli.

Mallinnuksen tulosten epävarmuus johtuu yhtäältä mallien epätarkasta todellisen maailman kuvauksesta, toisaalta lähtöarvojen epävarmuuksista. Herkkyyssarkasteluilla voidaan saada tietoa siitä, miten lähtöarvojen epävarmuus vaikuttaa tulosten epävarmuuksiin. Väitöstyössä osoitettiin, etteivät yleisimmät herkkyyssarkasteluissa tyyppillisesti käytetyt ensimmäisen kertaluvun korrelaatiot ole aina riittäviä, vaan myös lähtöarvojen keskinäisellä vuorovaikutuksella voi olla suuri vaikutus tuloksiin.

Suojakuoriputken viruminen

Pääosa väitöstyötä käsittelee suojakuoriputken virumisvastetta jännityksen muutostilanteissa. Viruminen on jännityksen ajama hidaskuodonmuutos korkeassa lämpötilassa. Sillä voi ajatella olevan kolme vaihetta: nopean mutta hidastuvan virumisen primääri- ja sekundääri- ja lopulta kiihtyvä rikkoutumiseen päättyvä tertiääri- ja sekundääri- ja lopulta kiihtyvä rikkoutumiseen päättyvä tertiääri- ja sekundääri- ja lopulta kiihtyvä rikkoutumiseen päättyvä tertiääri- ja sekundääri- vaiheiden alueella.

Haaste mallintamisessa ovat muuttuvat jännitystilat, sillä alussa suojakuoriputki on reaktorin jäähdytteen aiheuttamassa puristavassa jänni-

tyksessä viruen sisäänpäin, kunnes paisuvat polttoainetabletit alkavat työntää suojakuoriputkea ulospäin. Tablettien ja putken mekaaninen vuorovaikutus aiheuttaa monimutkaisia jännitystiloja tablettien reagoidessa voimakkaasti reaktorin tehon muutoksiin. Perinteisesti näitä muuttuvia jännitystiloja on mallinnettu insinööritason koodeissa niin kutsutulla strain hardening -oletuksella, mutta jo pitkään on tiedetty että kyseinen oletus ei toimi tilanteissa joissa jännitys vähenee tai vaihtaa suuntaa.

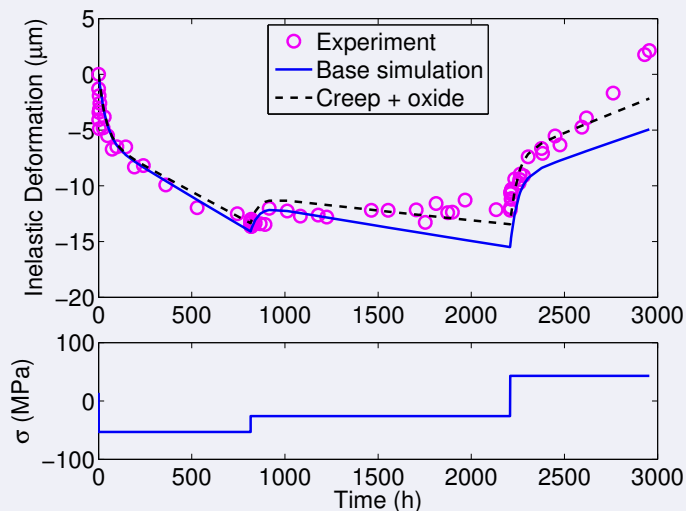
Viskoelastinen malli

Norjassa sijaitsevassa Haldenin koereaktorissa on tehty 1990-luvulta lähtien virumiskokeita järjestelyllä, joka mahdollistaa jännitystilan hallitun muutoksen ja muodonmuutoksen säteilytyksenaikaisen mittauksen. Näistä kokeista saatuja tuloksia käytettiin ensimmäisen empiirisen mallin luomiseen, joka myöhemmin jalostui kuvaamaan metallin anelastisen muodonmuutoksen vaikutusta jännityksen muutostiloissa.

Anelastinen muodonmuutos on palautuvaa (kuten jousimainen elastinen muodonmuutos) ja ajasta riippuvaa. Perinteisesti metalleilla sen oletetaan olevan hyvin pientä, mutta korkea lämpötila, säteily sekä sovelluskohde kaikki vaativat sen sisällyttämistä suojakuoriputken virumisanalyysiin. Kun anelastiseen malliin lisää virumisesta aiheutuvan pysyvän muodonmuutoksen, on lopullinen malli tyypiltään viskoelastinen.

Viskoelastinen malli on mahdollistanut sekä Haldenissa tehtyjen virumiskokeiden että valittujen avoimesta kirjallisuudesta löytyneiden suojakuoriputkilla tehtyjen virumis- ja jännitysrelaksaatiokokeiden mallintamisen, erityisesti jännityksen vähentyessä tai vaihtaessa suuntaa. Haldenissa tehdyn IFA-699-kokeen mallinnustulos on nähtävissä kuvassa 1. Tällaisten tilanteiden oikea mallintaminen on tärkeää tarkastellessa esimerkiksi mahdollisia korkean palaman lift-off-tilanteita tai polttoaineen mukautumista vallitsevaan tehotasoon.

Lift-off-tilanne on polttoaineen poistopalamaa rajoittava skenaario, jossa vapautuneet fysiokaasut nostavat sauvan sisäistä painetta niin paljon että suojakuoriputki alkaa virumaan ulospäin nopeammin kuin polttoainetabletti paisuu. Tällöin niiden välinen kaasurako avautuu, heikentäen lämmönsiirtoa, nostaan polttoaineen lämpötilaa joka taas vapauttaa lisää fysiokaasuja, aiheuttaen kierteen joka johtaa polttoaineen hajoamiseen.



Kuva 1. Koetulokset ja mallinnus Haldenissa tehdyn IFA-699-kokeen Zircaloy-4-segmentin virumisesta. Kokeessa oli alkuun kaksi puristavaa jännitysaskelta ja sen jälkeen venyttävä jännitysaskel. Lisähaastetta kokeen analysoinnille tulee segmentin sisällä olleesta polttoaineesta, joka aiheutti mittausreferenssikappaletta suuremman seinämlämpötilan. Tällöin segmentti oksidoitui referenssiä nopeammin, jolloin oksidin ollessa metallia huokoisempaa koesegmentti vaikutti mittauksissa pullistuvan.

Polttoaineen mukautuminen vallitsevaan tehotasoon taas on yksi reaktorin tehomuutosten nopeutta rajoittavista tekijöistä. Parantamalla ymmärrystä suojakuoren jännitystilojen muutoksista voidaan nämä PCI (Pellet Cladding Interaction) -rajoitteet pohjata paremmin polttoaineesta tapahtuviin ilmiöihin.

Väitös tapahtui 23.11.2015 Aalto-yliopistossa. Vastaväittäjänä toimi tohtori Susan Ortner National Nuclear Laboratorysta (UK) ja kustoksena professori Filip Tuomisto.

Kirjoittaja:



TkT Ville Tulkki

Erikoistutkija, Nuclear Safety
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
ville.tulkki@vtt.fi

Diplomityö: Integroitu simulointiavusteinen suunnittelu Apros-ohjelmistolla

Niklas Paganus, Fortum Power and Heat Oy

Työssä kehitetyn toiminnon avulla Apros-in automaatiokaaviot voidaan tallentaa standardin mukaisessa muodossa, joka on luettavissa muihin suunnitteluohjelmistoihin. Tavoitteena on madaltaa dynaamisen prosessisimuloinnin hyödyntämisen kynnyistä perussuunnitteluvaiheessa.

Using the feature developed in the thesis, Apros automation diagrams can be exported into a standard format that is readable into other design software. The aim is to lower the threshold for utilizing dynamic process simulation in basic design phase.

Prosessi- ja automaatiosuunnittelu seuraavat määriteltyä työnkulkua. Dynaaminen prosessisimulointi ei perinteisesti ole ollut integroitu osa prosessin ja automaation perussuunnittelua työnkulussa. Simuloinnin käyttämisen hyötyjä perussuunnitteluvaiheessa on tunnistettu: esimerkiksi suunnitteluvirheiden korjaaminen on helpompaa ja edullisempaa kuin jos virheet havaitaan myöhemmin. Dynaaminen prosessisimulointi on integroitava prosessi- ja automaatiosuunnittelun kanssa, jotta simuloinnin hyödyntämisen kynnys madaltuisi.

Simulaattorin integrointi suunnitteluohjelmistoihin

Dynaamista prosessisimulointia on hyödynnetty merkittävästi yksityiskohtaisen suunnittelun jälkeen, esimerkiksi automaation tehdasteissa. Tällöin mahdollisten suunnitteluvirheiden korjaaminen on haastavampaa ja kalliimpaa kuin perussuunnitteluvaiheessa. Yksi este dynaamisen prosessisimuloinnin laajemmalle ja varhaisemmalle hyödyntämiselle on ollut mallinnustyön vaatimat suuret resurssit. Simuloinnin hyödyntämisen kynnyistä voidaan madaltaa integroimalla prosessisimulointi prosessi- ja automaatiosuunnittelun kanssa hyödyntäen standardoituja tiedon esitystapoja ja automatisoimalla tiedonvaihtoa suunnitteluohjelmistojen välillä.

Apros on Fortumin ja VTT:n kehittämä dynaaminen prosessisimulointiohjelmisto. Perussuunnittelun aikana Aprosissa suunnitellaan ja mallinnetaan automaation toiminnot. Myös prosessi mallinnetaan käytävissä olevien lähtötietojen mukaisesti. Näin simulointimallista tulee dynaaminen ja automaatiotoimintoja voidaan testata. Aprosissa tuotettu automaatio- ja prosessisimulointitieto tulisi pystyä hyödyntämään yksityiskohtaisen suunnittelun lähtötietona.

Automaatiokaaviot standardiesitykseen

Työssä vertailtiin Apros-in automaatiokirjastoa IEC 61131 -standardiin, jotta Apros-in automaatiokomponentit voitiin esittää standardimuodossa. Standardiin päädyttiin sen automaatioteollisuudessa saavuttaman maailmanlaajuisen suosion vuoksi ja sen soveltuvuudesta kuvata Apros-in automaatiokomponentteja. Standardi itsessään ei tällä hetkellä määrittele varsinaista tiedon esitystapaa. Koska tällainen tarvitaan tiedon siirtämiseen työkalujen välillä, valittiin tiedon esitystavaksi PLCopen XML,

joka on suosituin esitystapa IEC 61131 -standardille ja joka on virallistamisprosessissa osaksi IEC 61131 -standardia.

Aprosiin kehitettiin automaattinen toiminto Apros-in automaatiokaavioiden viemiseksi PLCopen XML -esitystapaan. Toteutettu toiminto testattiin tuomalla Aprosissa suunniteltuja automaatiokaavioita onnistuneesti PLCopen XML -esitystapaa tukeviin automaatiojärjestelmiin.

Diplomityössä toteutettiin standardipohjainen prosessisimuloinnin integrointi automaatiosuunnitteluun. Automaation perussuunnittelun tulokset voidaan viedä Aprosista automaatiotoimittajalle standardimuodossa lopulliselle automaatioalustalle toteutettavaksi. Toiminto julkaistaan Apros 6.06 -versiossa. Apros-in ja suunnittelujärjestelmien integraatiota jatketaan Apros T&K -projektissa, jossa kehitetään toimintoja Apros-mallien generoimiseksi PI-kaavio- ja 3D-suunnittelutiedon pohjalta.

Opinnäytetyö on hyväksytty Aalto-yliopiston sähkötekniikan korkeakoulussa 22.10.2015.

Kirjoittaja:



DI Niklas Paganus

Suunnitteluinsinööri, Prosessisimulointi
Fortum Power and Heat Oy
niklas.paganus@fortum.com

Voiko turvallisuus olla riittävää?

– Tarkastelua ydinenergia-alan näkökulmasta

Turvallisuuden riittävyys on yleisenä kysymyksenä hallitsemattoman laaja. Käytävissäni oleva palstatila kun ei riitä edes opinnäytetyön johdanto-osioon. Yritän kuitenkin päästä ainakin alkuun. Viime vuoden aikana kärjistynyt pakolaisongelma on nostanut käsitteen turvallisuus yleiseen tietoisuuteen. Sen jälkeen on ajoittain tuntunut, että melkein pä kaikilla elämänoilla turvallisuuspohtinta on oleellinen arvioitava seikka.

Mainitsen muutamia esimerkkejä: politiikassa pakolaiskysymys, Yhdysvaltain presidentinvaalit, Isis, Britannia & EU, Venäjä, kotimaassa kolmikantaprosessi, sote; energiassa ydinenergia, kasvihuonekaasut, uusiutuvat. Liikenteessä turvallisuus on usein verukkeperuste. Asumisessa turvallisuutta vähentää asumisen kalleus ja arvojen romahdukset haja-asutusalueilla.

Perustuslakikin tuntuu olevan jo jonkinmoinen turvallisuusongelma sotessa ja hallituksen politiikan teossa. Yksittäisen ihmisen näkökulmasta melkein pä mikä tahansa turvallisuusaiheinen asia liittyy talouteen. Vanha klisee toimii: ei raha tee onnelliseksi, mutta kummasti se rauhoittaa.

Ydinenergia-ala demonstroi oivallisesti ongelmatiikkaa turvallisuuden riittävydestä/riittämättömyydestä. Otsikon kysymykseen moni alan ammattilainen varmaan vastaisi, että ”mikään saavutettu turvallisuustaso ei tunnu riittävän”. Vaatimusta vaatimuksen perään on tullut sitä mukaa kuin edelliset vaatimukset on onnistuttu täyttämään. Ison LOCAn aikaan oli vielä helppoa ja mukavan turvallista, varsinaiset vaikeudet alkoivat vakavien reaktorionnettomuuksien myötä. Ruotsi meni jumiin jo Harrisburgista, muu maailma vasta Tsernobylistä. Kun toipumis-

ta oli jo näköpiirissä, Fukushima käänsi alan taas taantumaan.

Muutkin maailman tapahtumat ovat vaikuttaneet. Viimeistään 9/11-terrori-isku toi vaatimuksen, että ydinvoimalaitoksen suojarakennuksen, mutta vain sen, ei maailman muiden rakennusten, on kestettävä myös matkustajalentokoneen törmäys. Kun Iranissa maa järenee, kaikkien uusien ydinvoimalaitosten on kestettävä myös maanjäristykset. Tai ainakin länsimaisten ydinvoimalaitosten, sikäli kuin niitä vielä rakennetaan.

Mutta ydinjätehuolto se vasta kestovaatimukset tarjoaa. Käytetyn polttoaineen syvälle maan poveen rakennettavan loppusijoituspaikan jääkauden sieto pitää voida todentaa oikeaksi, ellei peräti kahden jääkauden. Ei riitä todisteluksi, että Suomen maaperä on kestänyt tuhansia jääkausia jo precambrikaudelta lähtien yli 3 miljardia vuotta sitten.

Ydinenergia-ala tieteen alojen edustajana on jostain itselteni tuntemattomasta syystä joutunut tikun nokkaan yleiseksi tarkkailtavaksi. Se on kuin tarinan aasi, jonka edessä on varren päässä syötävän hyvä mutta saavuttamattomissa oleva porkkana. Tutussa tarinassa uutta on, että tässä kiinnostakin se, missä vaiheessa ja millä lailla aasin pinna palaa, kun sen kaipaama palkkioporkkana jää aina saavuttamatta. Olen tätä miettinyt: onko insinööri yhteiskunnan höynäyttämä hyväuskoinen aasi? Tai omistajansa palvova ja häntä kaikessa totteleva koira? Ei tietenkään

kumpaakaan, ihminenhän se insinöörin on. Mutta tiettyä aina ja kaikkeen valmista partio-poikaa insinöörissä on, pellepelotonmaista uskomista omiin kykyihinsä ratkaista ongelmat, olivat ne mitä tahansa. Hyviä ominaisuuksia yleensä, mutta liiallisuuksiin mentäessä ei välttämättä enää. Mietinpä muistaessani tätä joskus lisää.

Muutosvastarinta on väkevä voima. Se tiedetään, vaikka ainahan se yllättää kohdalle eteen tullessa. Työmarkkinajärjestöjen neuvotteluprosessia seurattaessa ei voi välttyä ajatukselta, että ”vanhassa vara parempi”. Muutos kuitenkin tulee, on aina tullut, väjäämättä, kaikilla aloilla ja asioissa. Se todistaa oikeaksi evoluution ja evoluutio sen. Se on luovuudessaakin sanan selitys: luovuus =

luovu (vanhasta) ja luo (tilalle) uus(i)! Mutta muutos ei tule hetkessä, vaan siinä on kyseessä prosessi. Eläkeuudistus lopulta tuli, vaikka ammattiyhdistysliikkeen tiukin taho uhkasi tuolloin vuonna 2009 hallitusta yleislakolla, jos hallitus ei luovu Vanhasen Rukan hangilla keksimästä ideasta.

Hallitus luopui ideasta ja eläkeuudistus tuli. Samalla logiikalla Sipilän hallituksen pakkolaeista luovutaan ja niiden tilalle tulee samat asiat mutta ”uudella katteuksella”. ATS:kin todisti kahdessa viimeisimmässä yhdistyskokouksessaan niin muutostavastarinnan kuin muutoksenkin voiman. Ensimmäisessä kokouksessa sääntöuudistus meni täydellisesti lyttyyn, toisessa kokouksessa kipukohtien osalta korjattu sääntöuudistus hyväksyttiin yksimielisesti. Ja hyvä näin!



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

Platom Oy

**Teknologian
tutkimuskeskus VTT Oy**

Fennovoima Oy

**Pohjoismainen
Ydinvaruutuspooli**

Teollisuuden Voima Oyj

FinNuclear ry

Pohjolan Voima Oy

TVO Nuclear Services Oy

**Fortum Power
and Heat Oy**

Posiva Oy

Voimaosakeyhtiö SF Oy

**Mirion Technologies
(RADOS) Oy**

Saanio & Riekkola Oy

Wärtsilä Finland Oy

Siemens Osakeyhtiö