

# ATS Ydintekniikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA - ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND RY

1  2014 vol. 43



## Tässä numerossa:

- 3** Pääkirjoitus: Missio: 200 uutta osajaa vuosittain
- 4** Editorial: Mission: 200 new experts each and every year
- 5** Tapahtumia: Vuosikokous 27.2.2014
- 6** ATS Young Generation ekskursio 23.–27.10.2013 Itävallassa, Slovakiassa ja Tšekin tasavallassa
- 11** Pandora's Promise ja ohjaaja Robert Stonen haastattelu
- 12** ONKALO-näyttely
- 14** Matkakertomus
- 15** Väitöskirjat
- 19** Diplomityöt
- 21** Reaktorin laidalla
- 22** Yhteystiedot
- 23** ATS:n uudet jäsenet

ATS YG ekskursio  
Itävallassa, Slovakiassa ja  
Tšekin tasavallassa

## Päätoimittajalta

Törmäsin verkossa tutun miehen terveisiin. *ATS Ydintekniikan* edellinen päätoimittaja **Riku Mattila** kertoi kuulumisistaan.

Rikulla diagnosoitiin ALS pari vuotta sitten ja hän esittelee itsensä Uuden Suomen blogissa näin:

*Viivästettyä kuolemantuomiota is-tuva pienen tytön insinööri-isä. ALS vienyt liikunta- ja puhekyvyn, mutta nykytekniikan avulla elämässä (myös työ-) kiinni pysyminen onnistuu vallan mainiosti. Periksi ei anneta niin kauan kuin silmät liikkuvat.*

ALS todetaan vuosittain 150 suomalaisella, eikä sairauteen ole parannuskeinoa. Diagnoosin jälkeen eliniän ennuste on keskimäärin kolmesta viiteen vuotta. Potilas saa lääkäreiltä ja farma-

siasta saatteeksi lähinnä myötätuntoa.

Mutta mitä tekee Riku Mattila? Pe-rehtyy alan tutkimukseen, hakeutuu tiedon lähteille ja alkaa kirjoittaa internet-sivustoa ja blogia. Se on mahdollista uuden silmän liikkeillä ohjattavan käyttöliittymän avulla.

Elämää ylläpitävän lääkityksen löytäminen on haasteellista. Tutkimuksen ja kehityksen politiikka on eräs Rikun tunnistamista ongelmista: lääketieteen tutkimus on niin erikoistunutta ja julkaisupaine niin kova, ettei poikkiteolliseen kokonaiskuvan hakuun ole ryhdytty. Jokainen tutkija tutkii vain omaa geeniään omassa laboratoriossa rahoitus- ja julkaisupaineiden puristuksessa.

IT-ammattilaiset ovat kuitenkin vii-

me vuosina kehittäneet keinoja, joilla myös ALS-potilaiden tahto tulee kuul-luksi senkin jälkeen, kun puhekyky on menetetty. Riku on etujoukoissa käyt-tämässä kadotettua ääntään uuden tek-nologian avustamana. Kaikkia keinoja ei ole vielä testattu!

Kovan kilpailun ja pirstaleisen tutk-muskentän ongelma lienee tuttu muil-takin vaativaa tutkimusta edellyttäviltä aloilta, mutta harvoin siihen saa näin selventävän ja henkilökohtaisen näkö-kulman.

*Silmäpeliä, mitä vielä haluan sanoa* -blogi löytyy osoitteesta [mattila.puheenvuoro.uusisuomi.fi/](http://mattila.puheenvuoro.uusisuomi.fi/).

*Anna-Maria Länsimies*  
päätoimittaja  
[anna-maria.lansimies@fortum.com](mailto:anna-maria.lansimies@fortum.com)

## Kevään kuva

Fortumin Loviisan voimalaitoksen säähavaintojärjestelmä uusitaan tämän vuoden aikana. Uusi säämasto asennettiin huhtikuun alkupuolella autonosturin ja helikopterin avustamana. Säähavaintolaitteistojen asennukset valmistuvat loppuvuodesta 2014. Kuva: Fortum, Aki Mattila.



## Missio: 200 uutta osaajaa vuosittain

**Y**dinenergia-alalla kaikki on suurta: laitossyksiköt maksavat miljardeja euroja, tehot mitataan gigawateissa, turbiinit ovat maailman suurimpia, loppusijoituslaitokset rakennetaan satojen metrien syvyyteen. Asiaan tietysti kuuluu, että myös osaajien tarve on poikkeuksellisen suuri.

Työ- ja elinkeinoministeriön johdolla tehdyn kattavan selvityksen perusteella ydinenergia-alalle tarvitaan 200 uutta osaajaa joka vuosi ainakin seuraavien 12 vuoden ajan. Noin puolet tarpeesta johtuu eläköitymisestä ja toinen puolikas suurista projekteista. Suomen yliopistot ja ammattikorkeakoulut tekevät parhaansa näiden osaajien tuottamiseksi.

Valtaosan uusista osaajista ei tarvitse tietää miten reaktoripolttoaineen lataus optimoidaan tai häiriötilanteen tehotransientti mallinnetaan. Yli 90 % osaajatarpeesta koostuu "perusinsinööreistä", joiden pääosaaminen on esim. rakentaminen, koneet, automaatio tai kemia. Silti alan erityispiirre eli nollaa suurempi mahdollisuus suurelle säteilyonnettomuudelle sekä sen estämisen välttämättömyys on edelleen syytä opettaa kaikille alalle tulijoille.

Yliopistoissa on alettu tarjota perustietoa ydinenergiasta sivuainekokonaisuuksien muodossa. Esimerkiksi Aalto-yliopistossa on mahdollisuus suorittaa kursseja ydintekniikasta, materiaaleista, sähköverkoista, turvallisuuskriittisistä organisaatioista ja kalliorakentamisesta ja saada näistä laaja-alainen sivuaine DI-tutkintoon.

Sekä Aallossa että Lappeenrannassa nähtiin melkoinen nousu ydintekniikan peruskurssien opiskelijamäärissä sen jälkeen, kun Olkiluoto 3 sai positiivisen periaatepäätöksen vuonna 2002. Erityisesti sivuaineopiskelijoiden lukumäärä kasvoi merkittävästi. Opiskelijoille on alan valinnassa tärkeää työllistyminen ja mielenkiintoiset työtehtävät. Ydinenergia-alalla opiskelijat näkevät haasteellisia työmahdollisuuksia

aina 75 vuoden eläkeikänsä saakka.

Ydinenergia-alan erityisosaajien koulutus on perinteisesti tapahtunut Aallossa, Lappeenrannassa sekä radiokemian alalla Helsingin yliopistossa. Suomalainen erikoisuus on se, että tutkimuslaitos VTT:llä on merkittävä rooli koulutuksessa. Tämä nelikko perusti Ydintekniikan ja radiokemian tohtoriohjelman (YTERA) vuoden 2012 alussa OKM:n, Akatemian ja alan teollisuuden rahallisella tuella. Tohtorikoulutuksen yhteistyö hakee vielä muotojaan, mutta jo nyt on selvää, että jatkolle on tarvetta YTERAn toimintakauden päättyessä vuoden 2015 lopussa.

YTERA2 herättää mielenkiintoa myös muissa yliopistoissa. Alustavia keskusteluja on käyty Tampereen teknillisen yliopiston sekä Itä-Suomen, Jyväskylän ja Oulun yliopistojen ja Åbo Akademin kanssa. Kun työ- ja elinkeinoministeriön johdolla on laadittu ydinenergia-alan tutkimusstrategiaa (YES) vuoteen 2030, tällainen tohtoriohjelmaverkosto on noussut yhdeksi strategian avaintekijöistä. Tarkoitus on myös kartoittaa olisiko kansalliselle maisteriohjelmalle tilausta.

Pienen maan ei kannata tehdä kaikkea itse, vaan kansainvälisiä verkostoja kannattaa hyödyntää sekä koulutuksen että tutkimusinfraosalta. Eurooppalaista koulutusyhteistyötä tarjoavat ENEN, CINCH ja IGD-TP ja infraosalta voidaan esimerkkeinä mainita Halden, JRC, JHR ja ITER. Alan uusien osaajien on syytä pitää ikkunat auki Eurooppaan. Kannattaa myös varautua siihen, että joku kipeää ikkunasta meillepäin hakemaan eturivin osaamista Suomesta!

Tässäkin ATS Ydintekniikan numerossa lukijat pääsevät tutustumaan alan uusiin osaajiin opinnäytetyöjuttujen kautta. Suosittelen lämpimästi!



YTERAn ensimmäinen vuosiseminaari pidettiin Tvärminnessä 20.-22.5.2012.



# Mission: 200 new experts each and every year

Everything is big in the nuclear energy field: power units cost billions of euros, power is measured in gigawatts, turbines are world's largest, final disposal is built in the depth of hundreds of meters. Not surprisingly, the need for new experts is also exceptional.

According to a survey conducted under the lead of the Ministry of Employment and the Economy in 2011-12, the nuclear energy field in Finland needs 200 new experts each and every year during the next 12 years at least. Roughly half of the need is due to retirements and the other half due to large projects. Universities and polytechnics are doing their best to deliver these experts.

A majority of the new experts do not need to know how to optimize the nuclear fuel loading or how to model a reactor transient. Over 90% of the labor need concerns "basic engineers" whose main expertise is, for example, construction, mechanics, automation or chemistry. Nevertheless, it is necessary to teach all newcomers the special feature of nuclear energy, a non-zero possibility for a large radiation accident and why it is imperative to prevent it.

Universities have started to define minor subjects covering the basics of nuclear energy. For example, at Aalto University it is possible to take courses on nuclear engineering, materials, power grid, safety critical organizations and rock engineering, and collect a general nuclear energy minor in the Master's degree.

Both at Aalto and Lappeenranta a significant increase was observed in the attendance of basic nuclear engineering courses after 2002 when Olkiluoto 3 obtained the positive decision-in-principle. Especially the number of minor students grew substantially. When selecting the field of studies, students appreciate employment possibilities and interesting project work. In the nuclear energy field, students see various engineering challenges that will last up to their retirement at the age of 75.

Our nuclear engineering specialists have been educated at Aalto and Lappeenranta, and the radiochemists at the University of Helsinki. A Finnish specialty is that the VTT Technical Research Center has had a strong role in education. In 2012, these four organizations established YTERA, Doctoral Programme for Nuclear Engineering and Radiochemistry, with the financial support of the Ministry of Education and Culture, Academy of Finland and industry. This educational cooperation is still under development, but it is already clear that there is need for this kind of a network even after 2015 when the term of YTERA ends.



YTERA2 has interested also other Finnish universities. Preliminary discussions have taken place with Tampere University of Technology, the Universities of Eastern Finland, Jyväskylä and Oulu and the Åbo Akademi University. When the national research strategy in the nuclear energy field up to 2030 has been prepared, this kind of a Doctoral Programme network has been defined as one of the cornerstones. Additionally, a similar network for Master level studies will be explored.

A small country cannot do everything by itself but must utilize international networks for both research infrastructure and education. European education platforms include ENEN, CINCH and IGD-TP, and examples of international infrastructures are Halden, JRC, JHR and ITER. The new experts in this field must keep their windows open towards Europe. It is also possible that someone will use the open window to obtain top-level knowhow from Finland!

Also this issue of *ATS Ydintekniikka* includes resumes of Doctoral and Master's theses. It is highly recommended that the reader uses this opportunity to get acquainted with our new experts!



The first YTERA annual seminar was held in Tvärminne 20.–22.5.2012.

# Vuosikokous 27.2.2014

ATS:n vuosikokous järjestettiin 27.2.2014 Tieteiden talolla. Läsnä oli kaikkiaan 39 seuran jäsentä. Sääntömääräisten asioiden lisäksi STUKin Keijo Valtosen esitteli YVL-ohjeiden uudistusta.



Keijo Valtosen esitelmä "Uudet YVL-ohjeet, niiden sisältö ja käyttöönotto" löytyy myös verkkosivuilta [www.ats-fns.fi](http://www.ats-fns.fi). Kuva: Kari Pietarinen.

Sääntömääräisten asioiden käsitte-lystä huolehti vuosikokouksen puheenjohtaja **Eija Karita Puska**. Seuran puheenjohtajan **Liisa Heikinheimon** esitellessä toimintakertomusta, kiinnitettiin yleisön joukosta huomiota tiedonjulkistamis- ja palkintoon, jonka myöntämisperusteet eivät olleet selvät. Kyseinen palkinto on perustettu vuonna 2000 ja se voidaan johtokunnan päätöksellä myöntää ulkoisessa viestinnässä ansioituneelle seuran jäsenelle ekskursio-osallistumisena tai vastaavana rahasummana. Palkittavaa jäsentä voi ehdottaa johtokunnalle joka tahansa seuran jäsen.

Palkintoa ei ole vielä kertaakaan myönnetty, mutta vuonna 2001 johtokunta myönsi **Kalle Bergiukselle** kunniamaininnan ja kannustuspalkinnon hänen ahkerasta ja monivuotisesta ydinvoimaa tukevasta kirjoitustyöstään monissa lehdissä. Johtokunta myönsi tuolloin myös pienen tiedonjulkistamis- ja palkinnon **Vasili Kalininille** hänen toi-

minnastaan tiedonvälittäjänä Venäjän sisarseuraan päin.

Vuosikokouksen tärkeimpiä asioita on seuran johtokunnan valitseminen. Puheenjohtaja ja muut johtokunnan jäsenet valitaan sääntöjen mukaan aina vuodeksi kerrallaan. Puheenjohtaja ja johtokunnan jäsen voidaan välittömästi peräkkäin valita uudelleen korkeintaan kahdesti. Tänä vuonna uudelleenvalittavina olivat kaikki johtokunnan jäsenet lukuun ottamatta varapuheenjohtaja **Olli Okkoa**. Hänen tilalleen johtokuntaan valittiin **Essi Ahonen** Säteilyturvakeskuksesta. **Erkki Laurila** -palkinto jaettiin toimituksen ehdotuksen mukaisesti **Jorma Järvenpäälle** artikkelista "Fuusio, tulevaisuuden energianlähde". Artikkelin ilmestyi ATS Ydintekniikan numerossa 1/2013 osana kokonaisuutta, joka kertoi ATS:n kotimaan ekskursiosta Satakuntaan ja Pirkanmaalle. Toimitus perusteli valintaansa muun muassa näin: "tulevaisuus on edessämme, se ei saa unohtua".

Sääntömääräisten asioiden jälkeen kuultiin **Keijo Valtosen** esitelmä "Uudet YVL-ohjeet, niiden sisältö ja käyttöönotto".

Uudet YVL-ohjeet tulivat voimaan 1.12.2013 alkaen lähes seitsemän vuoden intensiivisen työrupeaman jälkeen. Uusia ohjeita ja uutta rakennetta luotessa on pyritty kiinnittämään huomiota selkeisiin ja yksikäsitteisiin vaatimuksiin, sekä koko ohjeistoin johdonmukaisuuteen. Sääntöä uudistettaessa on otettu huomioon niin IAEA:n ja WENRA:n vaatimukset kuin opetukset Fukushima-

ydinonnettomuudesta ja Olkiluoto 3 -projektistakin.

Fukushiman onnettomuuden merkittävimmät vaikutukset liittyivät ulkoisiin ilmiöihin, useamman yksikön samanaikaiseen onnettomuuteen ja käytetyn polttoaineen varastointi- ja käsittelyal- taita koskeviin vaatimuksiin. Tosin jo aiemmin Suomessa ulkoiset uhat oli otettu riittävällä tasolla huomioon, joten tämä seikka ei tuonut meidän säännöstöömme niin paljon uutta. Olkiluoto 3 -projektiin tärkeimmät opetukset liittyivät suunnittelun valmiuteen rakentamisl- puvaiheessa sekä projektiin- ja laadunhal- lintaan liittyviin yksityiskohtiin. Turval- lisuuskulttuurin laadun huomioiminen nousi esiin molempien tapausten vaiku- tuksesta.

Valtosen esityksen jälkeen kuultiin fennovoimalaisten mietteitä YVL-ohje- uudistuksesta **Ilkka Männistön** viestit- tämänä. Kaiken kaikkiaan ohjeuudis- tuksen koettiin olevan tarpeellinen, sillä vanhoissa ohjeissa oli ristiriitaisuuksia eritahtisen päivittämisen vuoksi. Lisäksi kiiteltiin voimayhtiöiden äänen kuule- mista jo projektin varhaisessa vaiheessa.

### Johtokunnan uusi jäsen

Essi Ahonen työskentelee STUK:ssa Ydinvoimalaitosten valvonta -osastolla, jossa hän toimii tarkastajana Riskianalyysit-toimistossa. Hän on valmistunut diplomi-insinööriksi LUT:sta, syventymiskohteenaan ydinvoimatekniikka. Aikaisemmin hän on toiminut ATS YG-yhteys- henkilönä.

Teksti ja kuva:  
**DI Anna Nieminen**  
Sihteeri  
ATS  
[sihteeri@ats-fns.fi](mailto:sihteeri@ats-fns.fi)



**Onko Sinulla ATS:n historiikkiin soveltuvaa materiaalia, kuvia, tekstejä, käsiohjelmia tai tarinoita? Ota yhteys [eero.patrakka@kolumbus.fi](mailto:eero.patrakka@kolumbus.fi) tai [anna.nieminen@vtt.fi](mailto:anna.nieminen@vtt.fi).**

ATS Young Generation ekskursio 23.–27.10.2013

# Itävallassa, Slovakiassa ja Tšekin tasavallassa

ATS YG -ekskursioperinne teki näyttävän paluun viiden vuoden tauon jälkeen. Matkaohjelmaan kuuluivat tutustumisasiitit IAEA:n pääkonttoriin Wienissä, Mochovchen voimalaitokselle Slovakiassa sekä Dukovany voimalaitokselle Tšekin tasavallassa.



Ekskursioväki sekä IAEA:n suomalaiset Vienna International Centerin sisäpihalla. Kuva: Mika Aalto.

Vuoden 2013 YG-ekskursio Itävaltaan, Slovakiaan ja Tšekin tasavaltaan 23.–27.10.2013 sujui onnistuneesti ja kommelluksitta, vaikka matkaohjelmaan tulikin pieniä muutoksia vielä lähtöviikolla.

Alun perin ekskursion kohokohdaksi oli suunniteltu ja lyöty lukkoon Itävallan Zwentendorfin ydinvoimalaitokseen tutustuminen, mikä on ollut perinteinen ydinvoima-alan vierailukohteita Itävallassa IAEA:n ohella. Tämä vierailu kuitenkin jäi toteutumatta, sillä IAEA:n yhteyshenkilömme oli saanut kesällä, ilmeisesti laitoksen tuoreesta henkilöstömuutoksesta johtuen, varsin yhteistyöhaluttoman viestin Zwentendorfin suunnasta. Muidenkin maiden YG-visiitit kyseiseen kohteeseen olivat kohdanneet

saman kohtalon ja korvaavaksi vierailukohteeksi tuli varsin loppusuoralla Dukovany voimalaitos.

Toteutuneet vierailukohteet olivat pääosin mielenkiintoisia ja sopivasti mitoitettu ohjelma takasi sen, että seurueella oli aikaa ja energiaa tutustua myös muihin nähtävyyksiin kuten Wienin luonnontieteelliseen museoon, Schönbrunnin linnaan sekä Bratislavan ja Brnon keskustaan. Itävallan itsenäisyyspäivää vietettiin lauantaina 26.10 ja sen seurauksena Wienissä järjestettiin viikonlopun aikana paraateja, benjihypyjä ym. tapahtumia.

Ekskursiota suunniteltaessa päätavoitteeksi oli otettu se, että osallistumiskynnys ydinvoima-alan opiskelijoille olisi mahdollisimman alhaalla. Tätä ta-

voitetta edistettiin mm. käyttämällä osa budjetista siten, että opiskelijat pääsivät osallistumaan reissulle opiskelijahintaan. Tavoitteessa onnistuttiin: matkaseurueemme koostui 12 opiskelijasta ja 18 alan nuoresta ammattilaisesta.

Ekskursion aikana tutustuimme mukanaamme kaikkina päivinä reissanneisiin Slovakian atomitekniikan seuran YG-työryhmän edustajiin, jotka olivat aktiivisesti auttaneet meitä matkan järjestelyissä. Heidän vieraanvaraisuutensa oli koko reissan ajan ensiluokkaista ja toivotimmekin heidät lämpimästi tervetulleiksi vastavisiitille Suomeen.

DI Antti Paajanen

Suunnitteluinsinööri

Fortum Power and Heat Oy  
antti.paajanen@fortum.com



Ensimmäinen päivä

# Itävalta

Ekskursiion varsinaisen ensimmäisen päivän aamuna maistuvan hotelliaamiaisen jälkeen retkikunta lähti as-telemaan sateiseen Wieniin määränpäänä YK ja IAEA.

**K**ehnohkosta kelistä huolimatta yhteinen mieliala oli korkealla, sillä kaikilla oli varmasti suuret odotukset päivän suhteen. Lyhyen kävelyn ja reilun kymmenen minuutin kestois-  
sen metroajelun päätteeksi saavuttiinkin jo aivan VIC:n (Vienna International Centre) viereen. Sisäänkulkurakennuksen portailla törmäsimme ensin YK-poliisiin, joka kansainvälisenä virkamiehenä osasi myös sanasen suomeakin.

Hetken kuluttua ryhmä siirtyi yhteys-  
henkilömme, IAEA:n **Jana Roeschlovan** johdolla sisätiloihin, jossa oli vuorossa lentokenttätyyppinen turvatarkastus. Tällöin monelle havainnollistui, että tässä tosiaan ollaan ylittämässä valtion rajaa: Itävallasta Yhdistyneiden Kansakuntien maaperälle. Tämä selitti myös poliisisedän hieman erilaisen uniformun. Teräaseet ja räjähdysaineet oli jokainen onnistuneesti muistanut jättää hotellihuoneen kassakaappiin säilöön, sillä pian ryhmä olikin kokonaisuudessaan jo turvatarkastuksen läpi odottelemassa vieraskulukupia ennen varsinaiselle alueelle pääsemistä.

Päästyämme ulos sisäänkulkurakennuksesta näkymä oli huikea. Sisäpihaa dominoi suuri suihkulähde, jota reunusti tangoissa liehuvien jäsenmaiden lippujen värikirjo, diplomaattisesti aakkosten mukaisesti järjestettynä. Tulee talonmiehelle jälleen melkoisesti veivattavaa, jos esimerkiksi Kosovo joskus saavuttaa suvereniteetin ja pääsee liittymään jäsenvaltioksi.

## Suomalaisia uratarinoita IAEA:ssa

Lisäksi sisäpihalla päällistellessä ihmettelmistä riitti neljässä valtavassa ja arkkitehtuurisesti vaikuttavassa virastorakennuksessa; nyt olivat maaseudun kasvatit todellakin päässeet isolle kirkolle. Kaiken kaikkiaan VIC koostui seitsemästä tällaisesta rakennustekniikan taidon-  
näytteestä.

Pian oltiinkin jo siirretty sisätiloihin ja moderniin neuvotteluhuoneeseen, jossa eri osanottajapuolien edustajat

esittelivät järjestönsä. Mukana olivat ATS YG:n lisäksi vastaavat järjestöt Itävallasta ja Slovakiasta sekä YK:n oma tuore ydinvoima-alan YG-toimikunta. Pienen esiintymis- ja tutustumistuokion päätteeksi koko porukka jaettiin kahteen osaan, sillä seuraavana oli vuorossa esitelykiertos koko rakennuskompleksista. Opas kertoi ammattitaitoisesti muun muassa Wienissä sijaitsevan YK:n päämajan historiasta ja sen vaikutuksista alueen ihmisiin ja ympäristöön. Kierroksen jälkeen siirryttiin ruokailemaan suureen kanttiinisiin, jonka tarjoamat eväät eivät varmasti jättäneet ketään nälkäiseksi hinnankin pysyessä vielä opiskelijajäistävällisissä rajoissa.

Iltapäivän puolella suomalainen YG kokoonnut takaisin neuvotteluhuoneeseen, jossa oli seuraavana vuorossa kolme eri esittelyä suomalaisista uratarinoista YK:n ja IAEA:n palveluksessa. Kokemuksiaan ja työnkuvaansa valottamassa olivat **Antero Keskinen** (geomaatiikan analyttikko), **Tellervo Juurmaa** (tiedonhallinnan konsultti) sekä **Hanna Vanhatalo** (viestinnän esimies).

Oli erikoista kuulla, että vaikka kaikki olivat IAEA:n palveluksessa, ei kenenkään koulutus ollut tähdännyt suoranaisesti ydinvoima- tai -energia-alalle. Toinen mielenkiintoinen yhdistävä tekijä oli se, että heistä kukaan ei ollut vielä jokin aika sitten suunnitellut työskentelevänsä YK:lle, vaan kaikille tilaisuus oli tarjoutunut enemmän tai vähemmän sattumalta.

## Tutustumista Wieniin

Kuullun perusteella pesti IAEA:n palveluksessa ei vaikuttanut yhtään hullumalta: kansainvälinen työyhteisö, veroton ja kilpailukykyinen palkkataso sekä tietysti mahdollisuus asua niin upeassa keskieuropalaisessa kaupungissa kuin Wien. Muun muassa nämä seikat saivat varmasti jokaisen kuuntelijan pohtimaan, josko omakin urapolku löytäisi jossakin vaiheessa tiensä saman katon alle.

Antoisien esitysten päätteeksi oli aika



Wien. Kuva: Mika Aalto.

jättää hulppea YK taakse ja lähteä valmistautumaan yhteistä illanviettoa varten. Vapaata aikaa jäi tässä vaiheessa parituntia, jonka osa käytti huilaten, osa tutustuen Wienin keskustan tarjontaan ja nähtävyyksiin.

Lopulta illan jo hämärtäessä nuorisoyoukko lähti yhtä matkaa hotellilta kohti ravintola Schübel-Aueria. Muutaman raitiovaunua kohden otetun juoksuaskeleen siivittäminä paikan päälle suunnistettiin oikein mallikkaasti, ja perillä odotti idyllinen mutta kodikas, tavernan oloinen rakennus, jossa tarjottiin perinteistä itävaltalaisista ruokaa.

Iltamaan osallistui myös Slovakian ja Itävallan YG sekä uusia tuttavuuksia IAEA:lta. Pienen alkurupattelutuokion jälkeen päästiin käsiksi talon antimisiin, jotka olivat monipuoliset ja erittäin maittavat. Viimeistään tässä vaiheessa jokaiselle ekskursiolaiselle tarjoutui myös tilaisuus päästä juomaan viiniä Wienissä, vaikka se joidenkin arvioiden mukaan ehkä hieman laimeaa olikin.

Ensimmäinen päivä jätti käteen paljon uusia kokemuksia, tuttavuuksia ja nähtävyyksiä. Kaikille osallistujille varmasti muotoutui avartuneempi mielikuva IAEA:sta, joka aikaisemmin oli tuttu ehkä pelkkänä kirjainyhdistelmänä. Lisäksi valtaosalle tarjoutui varmasti ainutlaatuinen tilaisuus päästä vierailemaan YK:n maaperällä. Kaikin puolin onnistuneen päivän pohjalta oli hyvä ponnistaa uuteen vuorokauteen ja lähteä tutustumaan entisen itäblokin valtion ydinvoimakulttuuriin.

Vesa Laitinen, Herkko Pirkkalainen,  
Mika Aalto, Joel Maunula,  
Lappeenrannan teknillinen yliopisto



Bratislava. Kuva: Henri Ormus.

## Osallistujat

Antti Paajanen, Fortum  
Antti Teräsvirta, Fortum  
Sami Kiviluoto, Fortum  
Kalle Torkkeli, Fortum  
Essi Ahonen, STUK  
Samuli Hankivuo, STUK  
Mikko Heinonen, STUK  
Jukka Rintala, VTT  
Sampsa Lauerma, VTT  
Seppo Hillberg, VTT  
Jussi Kumpula, TVO  
Antti Lammela, TVO  
Lauri Parviainen, Posiva  
Niina Miettinen, Fennovoima  
Juha Korhonen, Fennovoima  
Tero Jännes, Fennovoima  
Henri Ormus, Pöyry  
Henni Simpanen, Pöyry  
Maria Palo, ÅF-Consult Oy  
Markus Neuvonen, Oulun yliopisto  
Kalle Kari, Oulun yliopisto  
Maija Sutinen, Oulun yliopisto  
Herkko Pirkkalainen, LUT  
Vesa Laitinen, LUT  
Mika Aalto, LUT  
Joel Maunula, LUT  
Eetu Ahonen, Aalto  
Tuuli Pyy, Aalto  
Antti Rintala, Aalto  
Aarno Isotalo, Aalto

## Toinen päivä

# Slovakia

**K**ello 6.50 uninen joukkomme kömpi bussiin Vienna International Centerin (VIC) vierestä parin kymmenen minuutin matkan päässä hotelliltamme, ja koitti ottaa mahdollisimman mukavan asennon. Hotellin henkilökunnan ystävällisesti jokaiselle pakkaamat valkoiset aamiaismuovipussit saivat odottaa matkaajien vaipeassa yhteistuumiin muutaman tunnin horrokseen.

Kolmen tunnin bussimatkaa ja muutamaa luumujogurtinvaihtoyritystä myöhemmin näkökentässä siinsivät Slovenské Elektrárnen operoimat Mochovcen ydinvoimalaitoksen 125-metriset jäähdytystornit, joista nousi pahaenteisen näköistä höyryä. Näky oli vaikuttava, vaikka Simpsonista tutut radioaktiivisuuslogot tosin puuttuivat.

Aamuauringon lämmittäessä mukavasti selkää siirryimme laitoksen vierailukeskukseen, jossa lyhyen videoesityksen aikana opimme, että laitos koostuu kahdesta käyvästä ja kahdesta rakenteilla olevasta yksiköstä. Videoesityksen lisäksi saimme kattavan yleisesittelyn voimalaitosyhtiön lisäksi myös itse voimalasta. Yleisön tietämyksen taso osattiin ottaa

huomioon, joten aivan perusasioita ydinvoimasta ei tarvinnut Slovakiaan asti tulla kuuntelemaan.

Mochovcen ydinvoimalaitoksen rakentaminen alkoi vuonna 1981 kahden ensimmäisen VVER-440/213-tyyppisen yksikön osalta ja kolmos- ja nelosyksiköiden rakentaminen alkoi vuonna 1986. Rakennustyöt kaikilla yksiköillä keskeytyivät vuonna 1992, mutta muutamaa vuotta myöhemmin valmiimpien ykkös- ja kakkosyksiköiden rakentamista päätettiin jatkaa. Työt jatkuivatkin vuonna 1996 osin uudempaa länsimaista tekniikkaa käyttäen. Voimalan ykkösyksikkö käynnistettiin vuonna 1998 ja kakkosyksikkö vuotta myöhemmin vuonna 1999. Voimalaitosten sähköteho oli alun perin 440 megawattia yksikköä kohden ja myöhemmin molemmille yksiköille on tehty tehonkorotus 470 megawattiin.

Kolmos- ja nelosyksiköillä rakennustöitä jatkettiin vuonna 2008. Yksiköt rakennetaan suoraan 471 megawatin sähköteholle. Lisäksi niissä käytetään huomattavasti enemmän uutta länsimaalaista tekniikkaa: muun muassa laitosten automaatiojärjestelmät rakennetaan suoraan digitaalisiksi. Kolmos- ja nelos-





*Mochovcen ydinvoimalaitoksen infokeskuksessa. Mukanamme oli myös YG-väkeä Japanista, Itävallasta ja Slovakiasta. Aukeaman kuvat: Kalle Kari*

yksiköihin tullaan sisällyttämään myös lukuisia määrä turvallisuuksiparannuksia ja samat parannukset tullaan mahdollisuuksien mukaan myöhemmin lisäämään myös jo käytössä oleviin kahteen yksikköön.

Suomalaisista voimaloista poiketen missään neljästä yksiköstä ei tule olemaan koko reaktorihallia peittävää paineenkestävää suojarakennusta, vaan mahdollinen onnettomuudessa tarvittava paineenalennus hoidetaan VVER-440/213 laitoille yleisellä kuplalauhdutinjärjestelmällä. Kolmosyksikön suunniteltu käyttöönottovuosi on 2014 ja nelosyksikön 2015.

Esityksen jälkeen nähty vierailukeskuksen näyttely oli tavanomainen. Kierroksen jälkeen ryhmämme jaettiin kahtia valvosimulaattori- ja turbiinihallikäyntiä sekä rakennustyömaavierailua varten.

Passi- ja turvatarkastusten jälkeen pääsimme käynnissä olevien kahden yksikön laitosalueelle. Ensimmäisenä kohteena oli yhden yksikön poikkeustilavalvosimulaattori. Paikan päällä aiheesta esitettyihin kysymyksiin vastattiin kattavasti. Simulaattorin jälkeen siirryimme hopulla käymään turbiinihallissa, jossa näytti ja kuulosti asiaan vihkiytymättömän silmin aivan samalta kuin missä tahansa muussakin turbiinihallissa, kuten esimerkiksi Loviisassa. Huomattavaa on,

että täällä toimivien ja rakennusvaiheissa olevien voimaloiden turbiinihallia ei erota kuin yksi seinä, sillä hallit on rakennettu kiinni toisiinsa.

Ensin rakennustyömaalla vierailut ryhmäpuolikas odotti meitä jo saapuesamme vaihtamaan vaatteita työmaavierailua varten. Ryhdyttyämme pukemaan huomioliivejä, kypäriä sekä turvakengkiä, aiheutti kenkien kokovalikoima pientä ihmetystä pienijalkaisissa naisissamme. Yleisin slovakialaiskengänkoko näyttää olevan tämän otoksen perusteella noin koon 45 tienoilla. Vaakasunnassakin pitkät miehet saattoivat kuitenkin olla tyytyväisiä, koska kerrankin sopivankokoiset kengät löytyivät varsin helposti.

Työmaa-alueelle siirryttiin asiaankuuluvaa pomppuista neuvostoaikeista betonilaattatietä pitkin bussilla. Tie oli ensimmäinen ja viimeinen, jolla slovakialainen bussikuskimme ajoi hieman rauhallisemmin. Toimivien laitojen puolella tähän mennessä kavutut portaat osoittautuvatkin vasta alkulämmittelyksi. Lisäjännitystä liikkumiseen toivat keskellä kävelyreitillä olleet metalliputket, yllättävät kynnökset, lattialla risteilevät johdot sekä valetusta betonista törrötävät raudoitukset. Portaikoissa oli vain pressuilla peitettyjä seinä putoamisvaaramerkintöjen kanssa.

Ympäristön tutkiskelu jäi puolijuoksuissa toissijaiseksi etenemisen epäva-



*Mochovcen ydinvoimalaitoksen 125-metriset jäähdystornit.*

kauden takia, mutta pääsimme näkemään ainakin jo paikalleen asennetun paineastian sekä höyrystimet. Näin alan opiskelijan silmin rakennustyömaa työturvallisuuksineen vaikutti mielenkiintoiselta. Kierroksen aikana juuri meistä välittämättä esineitä nostettiin nosturilla melkein päällämme. Toisaalta toisen paineastian lähettyvillä oli menossa jokin työvaihe, jota emme saaneet mennä katsomaan. Luultavasti alkuperäisen työmaan aikana kahdeksankymmentäluvulla valettu betoni oli paikoin melko rapautunutta.

Kierroksen jälkeen siirryimme ilman suurempia yllätyksiä lounaalle laitoksen työmaaruokalaan. Kokemus oli hieman neuvostohenkinen, eikä kommunikatio henkilökunnan kanssa ollut aivan ongelmatonta: eräs ryhmäläisistä päätyi saamaan lautasellisen perunamuusia ja kukkakaalia. Kiitosten ja kysymysten jälkeen pakkauimme takaisin busseihin paluumatkalle Wieniin Bratislavan kautta. Bratislavassa ohjelmassa oli ostoskeskushoppailun vaihtoehtona myös paikallisten YG-läisten pitämä kierros keskustan tuntumassa.

*Eetu Ahonen, Tuuli Pyy,  
Antti Rintala  
Aalto-yliopisto*

*Mochovche*



Kolmas päivä

# Tsekin tasavalta



Dukovany ydinvoimalaitoksella. Kuva: Kalle Kari.

**L**uantaina vierailimme Dukovanyssä Tsekin tasavallassa. Itsenäisyyspäivään valmistautuva Wien jäi taakse aloitettuumme aamuisen bussimatkamme pika-aikataululla kasaan kyhättä varasuunnitelmavierailua kohti. Sade piiskasi ikkunoita ja matkustajat torkkuivat. Virkeimmät retkeilijät pohivat maailman energiapolitiikan tulevaisuuden näkymiä ja sekä fissio- että fuusioreaktoreiden erilaisia teknisiä ratkaisuja. Hetkeäkään ei tarvinnut epäillä etteikö bussia olisi lastattu rautaisilla ydinvoima-alan ammattilaisilla.

Voimalaitoksen löytäminen osoittautui odotettua vaikeammaksi. Kysytyämme kyläläisiltä tietä painelimme keskellä vehreää maalaismaisemaa sumuun kietoutuneina ja epä tietoisina kunnes yhtäkkiä vain muutamien kymmenien metrien päässä olevat jäähdystornit hahmottuivat sumun keskeltä. Näky oli vaikuttava. Koko Dukovany matkan parasta antia.

Bussista kömmimme vuonna 1994 avatun infokeskuksen raskaaseen ilmaan. Keskus on kaltaistemme turistien suosiossa, sillä vuosittain noin 30 000 ihmistä käy tutustumassa talon antiin. Infokeskuksen vetovoima on niin taattu, ettei esittelyn materiaaleja ole edes tarvinnut päivittää sitten laitoksen käyttöönoton.

Asetuttuumme elokuva saliin alkoi itse

esittely. Ryhmämme tietotaito oli ilmoitettu etukäteen Dukovanyyn mutta siitä huolimatta esittelystä vastaava herttainen täti oli odottanut paikalle saapuvan bussilastillisen tsekkiläisiä koululaisia, ei suomalaisia alan ammattilaisia. Väärinymmärryksestä johtuen esitelmä oli sekä vaikeaselkoinen että tylsä. Luennon päätteeksi meille tarjoihtiin kaksi viiden toista minuutin elokuvaesitystä. Kyseessä oli varmasti koko ydinvoima-alan psykedeelisin avaruusajan multimediashow. Kasarimusiiikkia, kirkkaita värejä ja liikkuvia osia koko rahan edestä.

Esittelykiertros infokeskuksen läpi meni samaa rataa. Plasmapallo ja tausta säteilyä ilmaiseva kuplalevy kiinnittivät suurimman osan hilpeiden vierailijoiden huomiosta oppaan kierrellessä keskusta omaan tahtiinsa. Lopun Q&A-osiossa vastaajat eivät ymmärtäneet kysymyksiä eivätkä kysyjät vastauksia. Perustiedot toki oli hyvin harjoiteltu: kukin Dukovany neljästä PWR-yksiköstä tuottaa 500 MW. Laitos käynnistettiin 1985 ja sen käyttö lupa on päättymässä 2015, mutta 10 vuoden lisähakemus on jo laitettu sisään. Laitos on alueen asukkaiden keskuudessa hyvin suosittu, vaikeankin työllisyystilanteen vallitessa ydinvoima tuo paljon vakituisia työpaikkoja. Lopultakin kierroksen päättyessä voitiin siirtyä usvan ympäröimälle pihalle ja napata

ryhmäkuvat sekä siirtyä retken epäviralliseen osuuteen.

Pienen ajomatkan jälkeen saavuumme Brnoon, jonne aikaa oli varattu muutama tunti päivällistä ja shoppailua varten. Kuskin kaarrettua parkkiin ostoskeskuksen eteen keskustan kupeeseen bussista valui ulos joukko hämmentyneinä palloilevia ihmisiä, jotka eräs kaupungin hyvin tunteva matkalainen otti hellään huomaansa ja ohjasti keskustaan ruokalemaan.

Maittavan ja ainakin yhdessä pöytä-kunnassa vallan tuliseksi todetun ruoan jälkeen oli vielä hetkinen aikaa ennen poistumista takaisin Wieniin. Paluumatka sujuikin välillä varsin jännittävässä merkeissä, kun kuskilla tuntui olevan kiire päästä töistä kotiin. Yhtä kaikki, matkalaiset pääsivät turvallisesti takaisin Itävallan puolelle ilman merkittäviä henkilötappioita.

Maija Sutinen, Kalle Kari,  
Markus Neuvonen  
Oulun yliopisto



# ATS YT tapasi Robert Stonen Pandora's Promise

Robert Stonen dokumenttielokuva *Pandora's Promise* sai ensi-iltansa Suomessa 26.11.2013. Ensi-illassa oli läsnä myös elokuvan ohjaaja Robert Stone.

**R**obert Stoneen on viitattu Amerikan mahdollisesti aliarvostetuimpana dokumentaristina.

Stone sai esikoisteoksellaan *Radio Bikini* (1988) Oscar-ehdokkuuden kategoriassa ja esimerkiksi hänen dokumenttinsa *Oswald's Ghost* (2007) erottuu JFK-dokumenttien massasta.

"Olen ollut mieleltäni ympäristöaktivisti koko ikäni", Stone kertoo.

"*Radio Bikini* on dokumentti ydinasekokeista ja niiden seurauksista. Tuolloin ydinaseet ja ydinenergia edustivat minulle samaa asiaa ja olin niitä vastaan", hän toteaa.

Edelleen Stone vastustaa ydinaseita, mutta vuosien kuluessa hänen kantansa ydinvoimasta on muuttunut myönteiseksi – muutos, jolle hän ei osaa sanoa yhtä yksittäistä tilannetta – ja mikä vielä vahvistui *Pandora's Promise* tekemisen aikana.

Stone on kiertänyt ympäri Pohjois-Amerikkaa, Eurooppaa ja muuta maailmaa esittelemässä dokumenttia.

"Palaute *Pandora's Promise*stä on ollut vain positiivista. Eurooppalainen yleisö on kuitenkin jakautunut kahtia enemmän kuin amerikkalainen yleisö", hän toteaa.

"Yhdysvalloissa yleisössä oli tasaisesti ydinvoiman vastustajia ja kannattajia, mutta Euroopassa vastustajien houkuttelemisen katsomaan dokumenttia on ollut hankalaa."

"Haastateltavien löytäminen dokumenttiin oli hankalaa: monet tunnetut ympäristöaktivistit kannattavat ydinvoimaa yksityisesti, mutta eivät suostu kertomaan sitä julkisesti."

Yksikään televisioyhtiö ei suostu Euroopassa näyttämään dokumenttia, kun taas Yhdysvalloissa CNN näytti sen marraskuussa 2013.

Ympäristöjärjestöt, etunenässä Greenpeace, saivat Stonelta melko pitkän läksytyksen.

"Järjestö on jäänyt 70-luvun poteroihin vastustamaan ydinvoimaa. Syitä ovat muun muassa vanhat jääräpäiset johtajat ja taloudelliset seikat. Järjestöjen rahoitus tulee lahjoituksina ja ydinvoimavastaisuuden ollessa keskeinen agenda voisi kannanmuutos pudottaa tuloja dramaattisesti", hän pohdiskelee.

"Uuden sukupolven pitäisikin perustaa omat ympäristöjärjestönsä, jotka olisivat vapaat historian painolastista ja jotka näkisivät teknologian ratkaisuna eikä ongelmana."



Robert Stone kuva: pandoraspromise.com

Stone pitää ydinvoiman tulevaisuutta hankalana.

"Päätäjät ympäri maailmaa voisivatkin rakennuttaa ydinvoimaa, mutta kansa on yleisesti sitä vastaan, erityisesti Fukushimaa jälkeen."

Asetelmaa hankaloittaa media, joka elää ihmisten peloista ja jolle Fukushima oli lottovoitto. Stonea onkin pyydetty ja pyydetään matkustamaan ympäri maailmaa esittelemässä Fukushimaa onnettomuutta ja ydinvoimaa laajemmassa kontekstissa.

Stone viittaa haastattelun lopuksi *Michael Shellenbergerin* elokuvassa esittämään kommenttiin: fossiilista polttoaineista luopuminen pelkäään tuuli- ja aurinkovoimalla on "hallucinatory dillusion", tietoisesti itsestä rakennettu vääristynyt kuva.

## ATS Ydintekniikka suosittelee

### Ydinvoimamyönteinen näkökulma alan ulkopuolelta

**O**hjaaja *Robert Stonen* *Radio Bikini* (1988) kertoi kriittiseen sävyyn ydinkokeista Bikinin atollilla. Stone sai elokuvasta Oscar-ehdokkuuden. Sen sijaan *Pandora's Promise* on selkeästi ydinvoimamyönteinen pysyen kuitenkin asiallisena ja pitäytyen faktoihin.

Haastateltavat ympäristöaktivistit ovat kaikki henkilöitä, jotka ovat vaihtaneet kantaansa ydinvoiman vastustamisesta ydinvoimamyönteiseksi. Muitakin ääniä kuullaan.

Haastatteluiden lomassa dokumentissa näytetään otteita fiktiivisistä elokuvista ja paljon arkistomateriaalia historiasta aina Tsernobylin siivousoperaatiosta ilmastomuutoksen voimistamiin hirmumyrskyihin.

Fukushima tapahtui kesken dokumentin kuvaamisen ja Stone joutui tekemään suuren määrän haastatteluja uudestaan. Merkittävä osa dokumentin kuvama-

ateriaalista on Stonen ja *Mark Lynasin* Japanin matkalta, jossa he vierailevat evakuointialueella. Stone havainnollistaa säteilyä Fukushimaa ja muualla säteilymittarilla, joka katsojasta tuntuu piippaavan niin pienillä annosnopeuksilla, että nukkuminen sen kanssa omakotitalossa soraharjulla olisi mahdottomuus.

*Pandora's Promise* nostaa esille ongelman ns. kolmannen maailman kasvavasta elintasosta ja siten kasvavasta energian tarpeesta. Halusimme tai emme, esimerkiksi Afrikan energiankulutus tulee kasvamaan tulevina vuosikymmeninä.

Dokumentissa tuodaankin esiin IFR (Integral Fast Reactor), tai siitä GE Hitachin jatkokehittämä PRISM, natriumjähdytteinen neljännen sukupolven modulaarinen reaktori, joka ponnistaa Argonne National Laboratory:ssä kolme vuosikymmentä toimineesta EBR-II:sta (Experimental Breeder Reactor). Tämä osio herätti optimistisuudellaan kirjoit-

tajan suurimmat epäilykset koko dokumentissa: reaktori, jossa esimerkiksi sydänvaurio on mahdottomuus, ei kuulosta todelliselta.

Kaiken kaikkiaan *Pandora's Promise* oli hyvin tehty, asiallinen ja viihtyvä elokuva, jonka katsomista voi suositella, erityisesti jos haluaa nähdä miltä ydinvoimamyönteisyys näyttää alan ulkopuolella. Asteikolla jolla *Hyvät, pahat ja rumat* saa yhden neliön ja *American Pie* neljä tähteä, annan Robert Stonen *Pandora's Promise*lle seitsemän ympyrää.

*Pandora's Promise* on ainakin iTunes-kaupasta ja Netflix-palvelusta.

Haastattelu ja kritiikki:  
DI Lauri Rintala  
tohtorikoulutettava  
Aalto-yliopisto  
lauri.rintala@aalto.fi





# ONKALO-näyttely avaa vierailijoille ovet loppusijoitustutkimusten maailmaan

Olkiluotoon valmistui parisen kuukautta sitten uusi vierailukohde. Vastaisuudessa saarelle saapuvat vierasryhmät pääsevät tutustumaan myös maanalaisesta ONKALO-tutkimustilasta ja käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta kertovaan näyttelyyn, joka on sijoitettu matala- ja keskiaktiivisen ydinjätteen loppusijoitusluolan tutkimusperään.

**K**äytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus kiinnostaa maailmanlaajuisesti. Korkea-aktiivisen jätteen kohtalo huolestuttaa ja puhuttaa. Joistakin se voi tuntua pelottavalta tai käsittämättömältä, jotkut taas pitävät loppusijoitusratkaisua luotettavana. ONKALO, loppusijoitus ja Olkiluoto 3, siinäpä Olkiluoto-vierailujen puheenaiheiden kolmen kärki.

Voidaanko käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuudesta varmistua? Millä keinoin estetään radioaktiivisten aineiden vapautuminen ympäristöön? Minkälainen on ONKALO ja mitä siellä tehdään? Miten lop-

pusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta tutkitaan? Kysymystulvaan on pyritty vastaamaan uudella näyttelyllä, josta vieraat saavat runsaasti tutkittua ja vielä tutkimuksen kohteena olevaa tietoa. Näyttelyyn tutustuvat pääsevät myös testaamaan omia kykyjään loppusijoitustutkimusten moniulotteisessa maailmassa.

## Rakentamisesta, koneista ja tutkimuksista

Näyttely kertoo loppusijoitusratkaisusta ja ONKALOSSa meneillään olevista tutkimuksista, joilla varmennetaan Olkiluodon kallioperän soveltuvuus lop-

pusijoitukseen. Tutuksi tulevat lisäksi radioaktiivisten aineiden vapautumisesteet, loppusijoitukseen suunnitellut laitteet ja koneet, loppusijoitustilojen karakterisointi ja soveltuvuusluokittelu sekä maanalaisten tilojen rakentaminen tulevaisuudessa.

Voimalaitosjäteluolan (VLJ-luola) 60 metrin syvyydessä sijaitsevassa tutkimusperässä pääsee myös käsityksen loppusijoituksen mittasuhteista. Näyttelytilassa on ennen ONKALON rakentamista tehty muun muassa tunnelin louhintaan ja loppusijoitusreikien poraamiseen liittyviä tutkimuksia 1990-luvulla. Vieraiden nähtävänä ovat tutkimusperän lat-



*Loppusijoitusreiät ovat yli seitsemän ja puoli metriä metriä syviä*

tiaan poratut kolme loppusijoitusreikää sekä näyttelytilan perällä patkka loppusijoitustunnelia louhittuna. Kooltaan reiät ja tunneli ovat nykyisten suunnitelmien kaltaisia ja varsinaisen näyttelytila on loppusijoitustunneleita yhdistävien keskustunneleiden kokoluokkaa.

Loppusijoitustutkimukset siirtyivät ONKALOon 2000-luvulla, mutta tutkimustoimintaa VLJ-luolan ONKALO-näyttelytilassa on edelleen. Tällä hetkellä siellä on käynnissä TVO:n ja Fortumin yhteinen betonin pitkäaikaiskestävyystutkimus, johon vieraat pääsevät myös tutustumaan.

### Moniulotteista ja poikkitie-teellistä

Ydinjäteyhtiö Posivassa työskentelevien tehtävät vaihtelevat erilaisista ydinjätteen loppusijoitukseen liittyvistä tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutehtävistä loppusijoituslaitoksen toteutussuunnitteluun, rakentamisen valvontaan ja turvallisuuden varmistamiseen sekä tukitoimintoihin. Työyhteisö on monitieteinen, mutta noin neljällä viidestä on teknillinen tai matemaattisluonnontieteellinen koulutus. ONKALO-näyttelyssä tutuksi tulevat muun muassa geologin, kapselin kehittäjän, bentoniittitutkijan ja kemistin työnkuvat.

Näyttelyssä kävijät saavat muun muassa testata kalliokartoitustaitojaan. Kompassi ja kivilajitietämys edesauttavat tehtävien ratkaisemisesta. Kukin voi

myös kokeilla ja tunnustella bentoniittisaven koostumusta sekä puristaa pelletinpuristuslaitteella itselleen kotiin viemisiksi pienen bentoniittipelletin. Vesipisteellä vierailijat pääsevät mittaamaan veden suolaisuusarvoja pintaveden ja loppusijoitusvyöhyden kalliopohjaveden osalta.

Kapselin kehitystyö taas on pitkälti erilaisten mallien ja laskelmien pyörittelemistä, joten näyttelyvieraiden tehtävänä on arvioida kapselin lujuutta ja kestävyyttä pienen laskutehtävän avulla. Näyttelyssä on myös mahdollista loppusijoittaa kapseli kalliioon porattuun loppusijoitusreikään ja täyttää se bentoniittisavella. Lopuksi ”loppusijoittaja” pääsee asettamaan tunnelitätemateriaalin loppusijoitustunneliin.

*Teksti ja kuvat:*



*YTM Johanna Aho  
Tiedottaja  
Teollisuuden Voima Oyj  
Sisäinen viestintä ja  
loppusijoitusviestintä  
johanna.aho@tvo.fi*



### Ryhmävierailulle ovat kaikki tervetulleita

ONKALO-näyttelyyn pääsee tutustumaan varaamalla opastetun ryhmävierailun Olkiluotoon. Vierailu on maksuton, mutta ryhmän pitää koostua vähintään kymmenestä hengestä. Opastetun kierroksen voi varata sähköpostitse osoitteesta vierailut@tvo.fi tai puhelimitse numerosta 02 - 8381 5221. Lisätietoja Olkiluoto-vierailuista löytyy myös TVO:n internetsivuilta.

Opastettu vierailuohjelma kattaa tervetuloahvit, yhtiön esittelyn, Sähköä uraanista -tiedenäyttelyyn tutustumisen sekä vierailun voimalaitosjäteluolaan ja ONKALO-näyttelyyn. Vierailu kestää noin 3,5 tuntia.

# A Finnish Year

Enrique Garcia Lorente oli vuoden vaihto-oppilaana Aalto-yliopistolla.

**Mai!** My name is Enrique Garcia Lorente, I am Spanish, and last year I was a proud member of the Young Generation of Finnish Nuclear Society. I participated in the Erasmus program and I was given my first choice, one year at Aalto University.

My university studies in Spain are called Industrial Engineering. Its meaning in Spain is different than in the rest of Europe. It means that I am an engineer who studied the main industrial sciences, from mechanical engineering to electronics or automatics, covering also thermodynamics, materials science or economy. In addition, the students must choose one of the nine specialities and in my case, I focused on energy and in particular, in nuclear energy. In addition, both my university (Universidad Politécnica de Madrid or UPM) and Aalto University belong to ENEN association, so I decided to contact professor Salomaa in order to plan my last year of studies and my final project (master thesis) in Finland.

## Hard landing

I arrived the second of September (2012) in Finland and our tutors were waiting there in order to help us in our first steps in Helsinki. The first week was really intense due to all the paper work and practicalities.

In my second week I went to the weekly meeting of fission research group and I met all the people who were going to be my new work mates and masters of Finnish culture. They were the reference for everything weird or non-understandable in this country of contrasts. I won't get tired of thanking **Rainer, Pertti, Aarno, Lauri, Risto, Jarmo, Eila** and my officemate **Eric** as well as fusion group for all the help during those long and cold months.

My first surprise at fission research group was when I got invited to a cruise in which Young Generation of Finnish Nuclear Society had a seminar. I joined them without hesitation.

I met professionals from Finnish nuclear companies and the presentations and workshop were interesting. It was curious to compare for example different perceptions about issues of renewable energies from professionals working in

the nuclear sector. In addition, I was able to discuss the chances of doing my final project in a Finnish company.

By the end of the year, I had had a lot of experiences and... exams! Your university system is different from the Spanish one: In your system you learn every week by doing assignments and turning them in and the exam is a reflection of those exercises, whereas in my university we have lectures but we do not have to do any exercises or assignments. We should focus on understanding and learning how to apply the explained concepts and after that we have a final exam where one always get surprised by your professor.

## Ring in the new year

I spent my Christmas break in the warmer yet friendly cold Spain and I flew back to Finland with even more enthusiasm than the first time. After landing in January, a frozen sea was waiting for us and without much delay we went to enjoy walking over the sea on a sunny and real cold day with a temperature of 28 degrees below freezing.

I decided to do my final project at the fission research group of Aalto. The topic of the final project was the impact of thorium in a PWR. A very interesting topic with a possible but difficult application in the future but more research should be done before that.

In February I did probably one of the best trips ever in my life: I visited Lapland. It is a spectacular place with all the snow and silence. We had great weather and as if all that wasn't enough, we had two nights with northern lights.

One thing worth mentioning is the Finnish sauna. Of course there are saunas in Spain, but it is a totally different experience. The sauna routine and the social factor that sauna plays in Finland made me enjoy it a lot and I tried to go to sauna whenever I could. But going from sauna into a frozen lake was colder than I expected and I do not plan to redo it ever again.

## Back to work

I was invited to the interim seminar of SAFIR2014 where I understood how active is nuclear research in Finland. In that seminar, the main research lines were



presented and future plans of research were addressed as well. Again I was able to meet new professionals of the industry during the breaks and poster session.

During the following months I completed my work on the master thesis and a basic course on Finnish. The truth is that Finnish is phonetically very similar to Spanish so I was able to say and read properly most of the Finnish words, although ä and ö do not fit into a Spanish mouth. Understanding the words is then another matter.

May brought the total melting of the sea and Vappu. I also took part in YTERA seminar. It was two days during which the doctorate students close to end their studies presented the results and I considered it a perfect chance to network with people in a similar situation but from different universities and branches of the nuclear field. An extra day was added to the seminar and thanks to AREVA we could visit Olkiluoto 3: a unique chance to see different parts of the power plant.

## Towards the Thesis

On June I had collected all the necessary data from simulations for my final project and I started the slow and laborious process of writing it. The last step in my Erasmus was presenting my final project to the fission research group and doing maturity test for its approval. The result was that I finally ended all my studies for my bachelor and master with a good grade.

The fifteenth of September I ended up my exchange period and my studies in Finland. Thank you again Rainer and the rest of the people of the fission research group for such a good time. I think that Finland is a fantastic country which everybody should visit at least once in his life!

*M.Sc. Enrique Garcia Lorente*  
*enrique.garcia.lorente@gmail.com*



# *Yksinkertaistettu radionuklidien kulkeutumismalli käytetyn ydinpolttoaineen geologiselle loppusijoitukselle*

## *Simplifying solute transport modelling of the geological multi-barrier disposal system*

Väitöskirjassa on tutkittu loppusijoitusjärjestelmän kykyä rajoittaa radionuklidien kulkeutumista maanpinnalle.

**K**äytetty ydinpolttoaine on Suomessa suunniteltu loppusijoitettavaksi syväälle kallioperään louhittavaan loppusijoitustilaan. Loppusijoitusjärjestelmän tarkoituksena on eristää käytetyssä ydinpolttoaineessa olevat radioaktiiviset aineet ihmisen elinympäristöstä kunnes niiden aktiivisuus on laskenut vaarattomalle tasolle.

Loppusijoitusjärjestelmällä on kaksi päätoimintoa. Ensimmäkin sen tulee taata vakaat ja ennustettavat olot loppusijoituskanistereiden välittömässä ympäristössä, jotta kanisterit säilyvät tiiviinä mahdollisimman pitkään. Järjestelmä perustuu useaan peräkkäiseen esteeseen, jotka estävät tulevaisuudessa maanpinnalla mahdollisesti tapahtuvia häiriöitä heikentämästä jätkekanistereita, tai että ne ainakin merkittävästi vaimentavat häiriöiden vaikutuksia loppusijoituskanistereiden läheisyydessä. Tämä pienentää todennäköisyyttä, että kanisteri rikkoutuu lähitulevaisuudessa kun käytetyn polttoaineen radioaktiivisuus on vielä suuri.

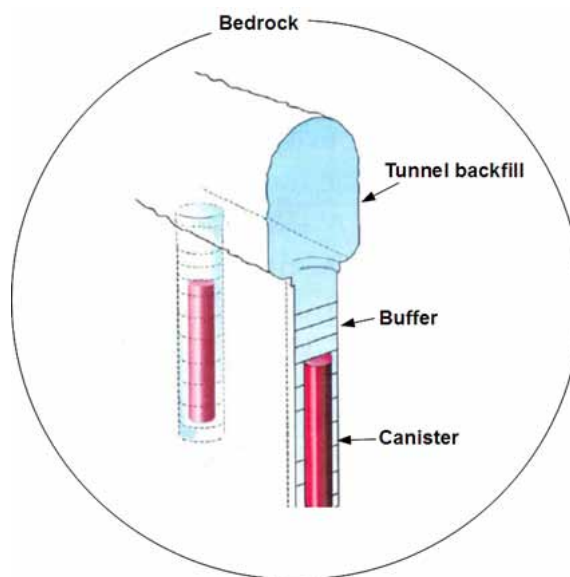
Loppusijoitusjärjestelmän toinen toiminto on rajoittaa radionuklidien vapautumista ja kulkeutumista loppusijoitustilasta maanpinnalle siinä tapauksessa, että jokin jätkekanistereista vuotaa. Järjestelmän toimintakykyanalyysissä tarkastellaan loppusijoitusjärjestelmän kykyä rajoittaa radionuklidien vapautumista ja kulkeutumista mallintamalla numeerisesti radionuklidien kulkeutumista.

Väitöskirjassa on tutkittu yllä mainittua loppusijoitusjärjestelmän jälkimmäistä toimintoa eli kykyä rajoittaa radionuklidien kulkeutumista maanpinnalle. Perinteisesti kulkeutumisanalyysit on tehty soveltamalla yksityiskohtaisia numeerisia malleja. Loppusijoitustilan toiminnan analysointi ei ole kuitenkaan pelkästään laskennallinen tehtävä. Yksinkertaistetun kulkeutumismallin tarkoituksena on helpottaa niiden loppusijoitussysteemin piirteiden tunnistamista, jotka pääasiallisesti vaikuttavat radionuklidien vapautumiseen loppusijoitustilasta.

Työ pohjautuu vuonna 2009 perustetun työryhmän työhön, jonka tulokset julkaistiin Posiva-raportissa 2012-20. Työryhmässä tarkasteltiin erilaisia mahdollisuuksia yksinkertaistaa radionuklidien kulkeutumisen mallinnusta. Väitöskirjassa on esitetty yksinkertaistettu kulkeutumismalli, jonka toimintaa on testattu perinteisten turvallisuusanalyysimallien antamia tuloksia vastaan.

### Loppusijoitusjärjestelmä

Geologinen loppusijoitusjärjestelmä perustuu moniesteperiaatteeseen, jossa kulkeutuminen jätkekanisterin ja biosfäärin välillä on mahdollista ainoastaan läpäisemällä useita peräkkäisiä vapautumisesteitä. Työssä tarkasteltu loppusijoitusjärjestelmä perustuu KBS-3V konseptiin. Tässä suunnitelmassa

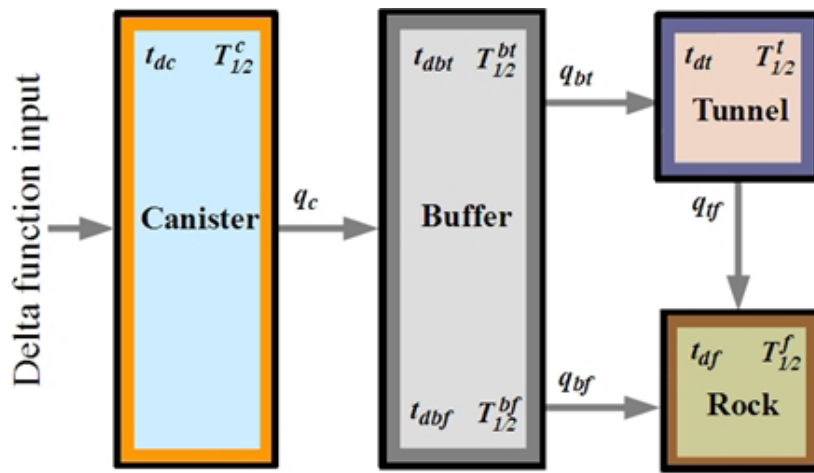


*Työssä tarkasteltu KBS-3V loppusijoitusjärjestelmä perustuu peräkkäisiin vapautumisesteisiin. Vapautumisesteinä toimivat kuparikapseli, sijoitusreiän puskurimateriaali, loppusijoitustunnelin täyteaine sekä kallioperä.*

loppusijoitusjärjestelmä rakentuu seuraavista osista. Käytetty polttoaine sijoitetaan kuparista tehtyyn tiiviiseen jätkekanisteriin. Jätkekanisterit sijoitetaan noin 400 metrin syvyydelle kallioperään porattaviin sijoitusreikiin. Kanisterit eristetään kallioperästä ja siinä virtaavasta vedestä heikosti vettä johtavalla puskurimateriaalilla. Kanistereiden sijoituspaikkoihin johtavat tunnelit täytetään heikosti johtavalla täyteaineella niin, että pohjaveden virtaus tunneleissa on vähäistä. Loppusijoitusjärjestelmä koostuu siten neljästä vapautumisestestä: i) jätkekanisteri, ii) puskurimateriaali sijoitusreiässä (bentoniittisavi), iii) loppusijoitustunnelien täyteaine ja iv) kallioperä.

Useimmissa laskentatapauksissa radionuklidin päästönopeus vapautumisestestä voidaan laskea konvoluutiona vapautumisesteen vastefunktion ja vapautumisesteseen tapahtuvan radionuklidin sisäänvirtauksen välillä. Vapautuminen usean peräkkäisen vapautumisesteen järjestelmästä voidaan siten laskea peräkkäisinä konvoluutioina esteiden vastefunktioiden välillä. Tämä hyvin yleisellä tasolla oleva loppusijoitusjärjestelmän piirre jo sinällään määrittelee moniestesysteemin toimintaa.

Vastefunktion leveys loppusijoitusjärjestelmän läpi tapahtuvalle kulkeutumiselle määrittää sitä, kuinka paljon systeemiin sisään menevä päästöpulssi leviää ajassa ja siten myös miten paljon päästönopeus vaimenee. Toisaalta tiedetään,



Loppusjoiutusjärjestelmä on kuvattu yksinkertaisena mallina, jossa kukin vapautumiseste kuvataan yhdellä kompartmentilla. Jokaisen vapautumisesteen toiminta kuvataan kahdella aikavakiolla: pitoisuuden puoliintumisaika ( $T_{1/2}$ ) ja massansiirron viiveaika ( $t_d$ ). Vapautumisesteen välinen massansiirto kuvataan ekvivalenteilla virtaamilla ( $q$ ).

että kahden jakauman konvoluutiona syntyneen jakauman varianssi on konvoloitujen jakaumien varianssien summa. Tämän perusteella se yksittäinen este, joka tuottaa leveimmän vastefunktion, hallitsee päästöpulssin leviämistä koko järjestelmästä ja siten myös koko järjestelmän vapautumisnopeuksia vaimentavaa toimintaa.

### Vapautumisesteitä kuvaavia tunnuslukuja

Useissa tilanteissa massansiirto vapautumisesteen sisällä on tehokkaampaa kuin siirrostekijä seuraavaan vapautumisesteseen. Radionuklidien kulkeutumista loppusjoiutusjärjestelmässä voidaan siten yksinkertaistaa kuvaamalla vapautumisesteen yksittäisinä hyvin sekoitettuna tilavuuksina. Loppusjoiutusjärjestelmän osia tarkastelemalla havaitaan, että vapautumisestestä tapahtuva vapautuminen on hyvin heikosti kytketty nuklidin pitoisuuteen seuraavassa vapautumisestessä. Edellä olevasta seuraa, että kunkin vapautumisesteen toimintaa on mahdollista kuvata muutamalla tunnusluvulla.

Vapautumisnopeus vapautumisestestä voidaan kuvata ekvivalentilla virtaamalla. Ekvivalenttivirtaama on näennäinen tilavuusvirtaama, joka pitoisuuden yhdistettynä antaa massavirran. Vapautumispulssin leviämistä ajassa ja siten myös vapautumisnopeuden tasoa kaikille nuklideille voidaan kuvata ajalla, jossa vapautumisesteseen vapautetusta ainemäärästä on vapautunut puolet. Tämä pitoisuuden puoliintumisaika voidaan laskea jakamalla vapautumisesteen nuklidikohtainen kapasiteetti (huokostilavuuden ja nuklidikohtaisen pidätyskerroimen tulo) nuklidin ekvivalentilla virtaamalla ulos vapautumisestestä. Radioaktiivisella aineella vapautumisnopeuden taso määräytyy vapautumispulssin ajallisen leviämisen lisäksi myös mahdollisista viiveistä esteseen tapahtuvien sisään- ja ulosvirtausten välillä. Tämän vuoksi esitetty yksinkertaistettu malli on tarkennettu arvioimalla kullekin esteelle massansiirron viiveaika.

Eri vapautumisesteen toimintaa on mahdollista arvioida vertailemalla edellä mainittuja vapautumisestekohtaisia tunnuslukuja. Koko loppusjoiutusjärjestelmän kannalta tehokas nuklidien vapautumisnopeutta rajoittava este on vapautumiseste, jolla on suurin pitoisuuden puoliintumisaika. Lyhytikäisille nuklideille tärkeitä vapautumisesteitä ovat myös esteet, joissa massan siirron viiveaika on pitkä verrattuna nuklidin radioaktiiviseen puoliintumisaikaan. Koko loppusjoiutusjärjestelmän toimintaa voi siten kuvata tunnusluvuilla, jotka ovat suoraan laskettavissa vapautumisesteen geomet-

riasta ja massansiirtoprosesseista peräkkäisten vapautumisesteen välillä.

### Vapautumisnopeuksien laskenta

Yksinkertaistetulla mallilla on mahdollista arvioida yksittäisistä esteistä ja koko loppusjoiutusjärjestelmästä tapahtuvia nuklidikohtaisia vapautumisnopeuksia. Vapautumisesteen kuvaaminen hyvin sekoitettuna tilavuuksina johtaa koko loppusjoiutusjärjestelmän kuvaamisessa systeemiin, joka on matemaattisesti analoginen radioaktiivisen hajoamisketjun kanssa. Tätä analogiaa on mahdollista käyttää hyväksi laskettaessa radionuklidien kulkeutumista loppusjoiutusjärjestelmän läpi.

Yksinkertaistetun mallin kykyä arvioida radionuklidien vapautumisnopeuksia testattiin mallintamalla nuklidien C-14, I-129 ja Pu-239 aktiivisuusvirrat yhdelle Posivan RNT-2008 kulkeutumisanalyysin laskentatapaukselle. Malli tuotti vertailuna käytetyn numeerisen mallin kanssa yhtenevät tulokset nuklideille C-14 ja I-129. Pu-239:n arvioitu vapautumisnopeus oli suunnilleen samaa suuruusluokkaa kuin numeerisen mallin tulokset.

Yksinkertaistetun kulkeutumismallin rajoituksena tällä hetkellä on, että vapautumisnopeuksien arviointi ei ole mahdollista hajoamisketjuilla vaan ainoastaan yksittäisille nuklideille. Hajoamisketjuja on kuitenkin mahdollista monissa tapauksissa yksinkertaistaa. Lisäksi vapautumisestekohtaiset tunnusluvut ketjunuklideille kuvaavat vapautumisesteen tehokkuutta rajoittaa myös näiden nuklidien vapautumisnopeuksia.

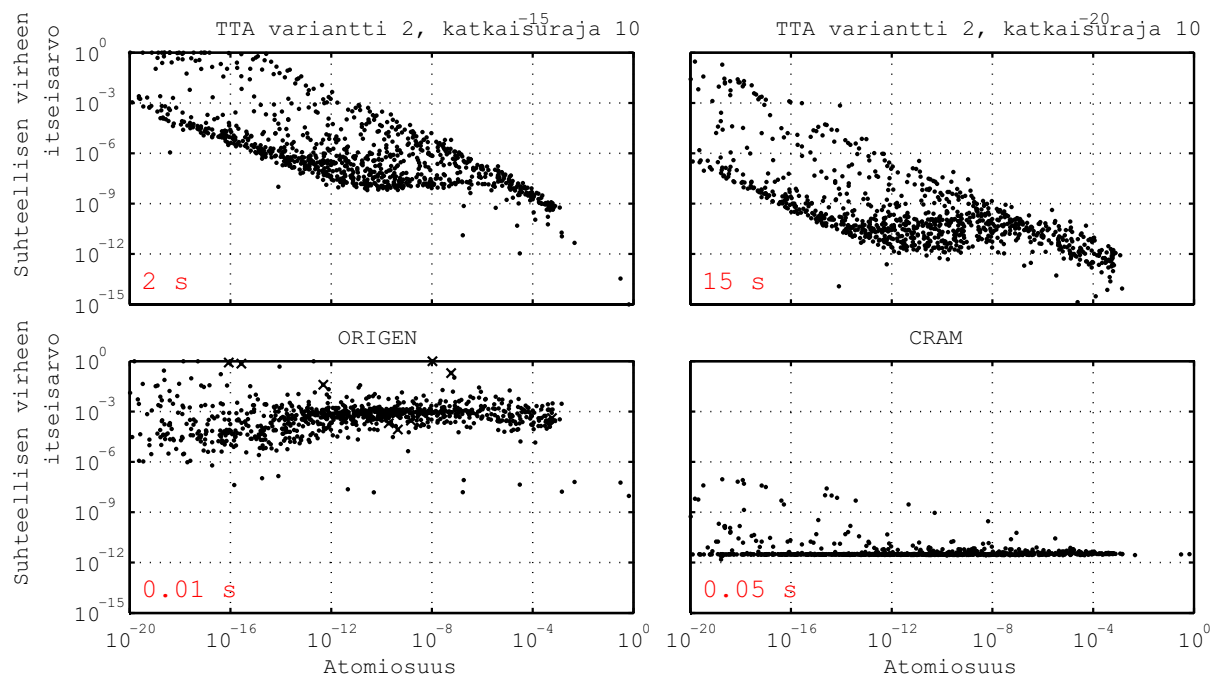
*Väitöstilaisuus pidettiin 29.11.2013 Aalto-yliopistolla. Väitöstyön ohjaajana toimi professori Rainer Salomaa ja vastaavattajana professor Anders Wörman, Kungliga Tekniska Högskolanista Ruotsista. Väitöskirja löytyy sähköisesti osoitteesta <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/11450>*

TkT Antti Poteri  
VTT  
Johtava tutkija  
Ydinjätehuolto  
[antti.poteri@vtt.fi](mailto:antti.poteri@vtt.fi)



## Laskentamenetelmiä Monte Carlo -palamalaskuihin

Väitöskirja käsittelee Monte Carlo -palamalaskujen metodologiaa.



Kolmen menetelmän tuottamat suhteelliset virheet yksittäisille nuklideille. Paneelin alakulmiin merkatut laskenta-ajat ovat esimerkinluontoisia. TTA-varianttien väliset erot ovat liian pieniä vaikuttaakseen johtopäätöksiin.

**P**alamalaskuissa pyritään mallintamaan ydinpolttoaineen koostumuksen ja neutroniikkaominaisuuksien käytönaikaisia muutoksia. Kun tarvittaviin neutroniikkaratkaisuihin käytetään Monte Carlo -menetelmää, puhutaan Monte Carlo -palamalaskuista. Väitöskirja käsittelee Monte Carlo -palamalaskujen metodologiaa. Useimmat käytetyistä menetelmistä ja saaduista tuloksista ovat kuitenkin sovellettavissa myös deterministisen neutroniikan kanssa.

### Bateman-yhtälöiden ratkaisumenetelmien vertailu

Monte Carlo -palamalasku muodostuu askelista, joilla muutokset materiaalien koostumuksissa lasketaan evaluoimalla eksplisiittinen ratkaisu vakiokertoimisiin Bateman-yhtälöihin. Väitöstutkimuksen ensimmäisessä osassa vertailtiin viittä algoritmia, jotka pystyvät tekemään tämän huomioiden eksplisiittisesti kaikki ne tuhannet nuklidit ja reaktiot, joihin palamalaskuissa törmätään.

Vertailut algoritmit ovat ORIGEN:in käyttämä potenssarjakehitelmään perustuva matriisieksponentiaalimenet-

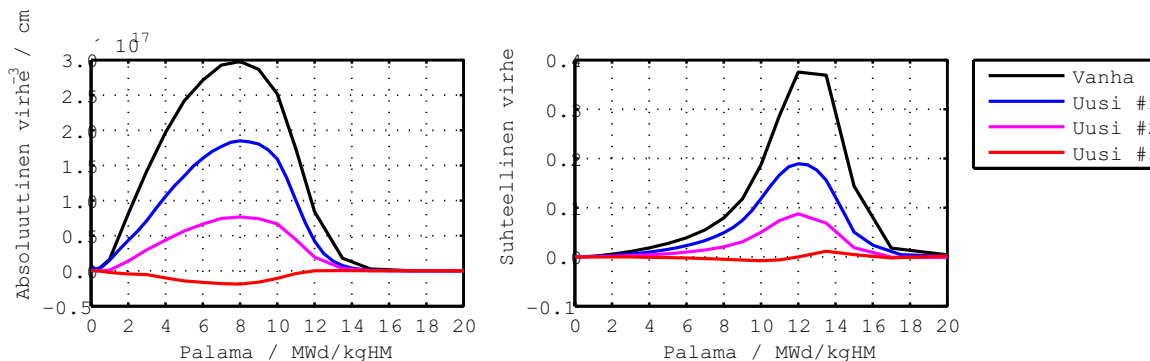
mä, VTT:llä kehitetty Chebyshev Rational Approximation Method (CRAM) sekä kolme syklistä ketjua eri tavoilla käsittelevää versiota Transmutation Trajectory Analysis (TTA) -menetelmästä, joka tunnetaan myös lineaaristen ketjujen menetelmänä ja Bateman-menetelmänä. Vaikka menetelmät ovat CRAM:ia lukuunottamatta varsin vanhoja, ei aiempaa tutkimustietoa niiden tarkkuuksista juuri ole.

Kuvassa~\ref{fig:depletion} esitetyt esimerkkitulokset ovat hyvin edustavia. Vertailun tulokset osoittavat CRAM:in soveltuvan menetelmistä selvästi parhaiten Monte Carlo -palamalaskuihin. Myöhemmin on kuitenkin paljastunut, että CRAM toimii huonosti laskettaessa käytetyn polttoaineen jäähtymistä nollavuossa. Näissä tapauksissa tulisi sen sijaan käyttää TTA-menetelmää. Nollavuossa TTA-varianttien väliset erot katoavat ja menetelmän laskenta-ajat laskevat dramaattisesti.

### Uudet palama-algoritmit

Bateman-yhtälöiden kerrointen arvot valitaan palama-algoritilla, joka käyttää kullakin askeleella yhtä tai useampaa aikariippumatonta neutroniikkaratkaisua ennustaakseen





**Yhden vanhan ja kolmen uuden menetelmän tuottamat suhteelliset ja absoluuttiset virheet Gd-155:n atomitiheyksille tyypillisessä Gd-sauvoja sisältävässä PWR-nipussa.**

kerrointen kehityksen. Koska kertoimet halutaan vakioiksi, approksimoidaan näitä ennusteita edelleen niiden keskiarvoilla.

Väitöstutkimuksen toisessa osassa kehitettiin uusia palama-algoritmeja, jotka käyttävät edellisiltä askelilta tallennettuja arvoja muodostaakseen korkeamman asteen ennusteita. Koska menneet arvot ovat valmiiksi saatavilla, ei tämä vaadi ylimääräisiä laskutoimituksia, eikä siten vaikuta askelkohtaiseen laskenta-aikaan.

Tarkkuutta voidaan edelleen parantaa jakamalla askeleet aliaskeleisiin, jotka ratkaistaan peräkkäin. Koska jokainen aliaskel voi käyttää Bateman-yhtälöissä eri kertoimia, tämä mahdollistaa kerrointen ennustetun kehityksen tarkemman seuraamisen. Aliaskelten käyttö moninkertaistaa Bateman-evaluatioiden määrän, mutta tällä ei yleensä ole merkitystä sillä Monte Carlo -neutroniikka dominoi laskemiseen kuluva kokonaisaika.

Kuvassa on esitetty esimerkki saaduista tuloksista. Kolme uusista menetelmistä tuottaa konsistentisti parempia tuloksia kuin vanhat menetelmät, erityisesti aliaskelia käytettäessä. Kullakin näistä kolmesta menetelmästä on puolensa, eikä mikään niistä ole yksiselitteisesti muita parempi.

Mikä tahansa palama-algoritmi voi tuottaa tarkkoja tuloksia käyttämällä riittävän lyhyitä askelia. Uusien menetelmien parempi tarkkuus kuitenkin tarkoittaa, että ne voivat saavuttaa halutun tarkkuuden selvästi pidemmällä askeleilla, mikä lyhentää laskenta-aikaa.

## Palamalaskujen ksenon-stabiilisuus

Aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet vanhojen palama-algoritmien kärsivän suurissa geometrioissa spatiaalisista ksenon-oskillaatioista, jotka vaikuttavat myös uusiin menetelmiin. Väitöstutkimuksessa kuitenkin osoitetaan

epästabiileissa testeissä ratkaistujen tapauksien kuvaavan fysikaalisia ksenon-oskillaatioita. Tämä johtuu siitä, että normaalit palamalaskut eivät huomioi lämpötilatakaisinkytkentöjä eivätkä reaktorin säätöjärjestelmää, jotka estäisivät oskillaatiot oikeassa reaktorissa.

Oskillaatioiden taustalla on siis ratkaistujen tapausten, ei ratkaisemiseen käytettyjen menetelmien, epästabiilisuus. Tämä ei kuitenkaan vaikuta siihen, että käytetyn kaltaisilla yksinkertaisilla malleilla halutaan saada stabiileja tuloksia.

Käytetystä palama-algoritmista ja oskillaatioiden alkupe-  
räästä riippumatta kaikki ksenon-lähtöiset oskillaatiot voidaan estää pakottamalla saturoitunut ksenon-konsentraatio ja neutronivuo molemminpuoleiseen tasapainoon. Tämän voidaan nähdä kuvaavan takaisinkytkentöjen ja säätöjärjestelmän stabiloivaa vaikutusta.

Tasapainoon pakottaminen ei sinänsä ole uusi idea, mutta väitöskirjassa esitellään mahdollisuus toteuttaa se käyttäen Monte Carlo -neutroniikkaan integroitua tasapainolaskua. Integroidulla algoritmilla tasapainotilan laskeminen on useita kertoja nopeampaa kuin perinteisillä, koko neutroniikkaa iteroivilla menetelmillä. Työssä käytettyyn tasapaino-

TkT Aarno Isotalo  
Tutkijatohtori  
Perustieteiden korkeakoulu  
Aalto-yliopisto  
aarno.isotalo@aalto.fi



## *Sähkökentän värähtelyt tokamak-plasmasimulaatioissa*

Diplomityössä tokamakin polttoaineen hallintaan liittyviä geodeettisia akustisia moodeja Aalto-yliopistossa kehitetyn ELMFIRE-koodin avulla.

**N**euvostoliittolaislähtöiset tokamakit edustavat tällä hetkellä lupaavinta teknologiaa fuusioreaktorien saralla. Matkalla kohti kaupallista energiantuotantoa on kuitenkin vielä lukuisia haasteita voitettavana. Muodoltaan donitsia muistuttavissa tokamakeissa polttoaine kuumennetaan korkeisiin lämpötiloihin, jolloin se muuttuu plasmaksi. Polttoaine pyritään pitämään koossa voimakkaiden magneettikenttien avulla, mutta hiukkaset kulkeutuvat monimutkaisten vuorovaikutusten saattamana kohti tokamakin seiniä.

Yksi ajautumisen avaintekijöistä on turbulenssi, jota ymmärtämällä ja oppimalla kontrolloimaan reaktorin toimintatehokkuutta voidaan kehittää huomattavasti. Geodeettiset akustiset moodit antavat potentiaalisen keinon turbulenssin hillitsemiseksi. Nykyteorioiden mukaan nämä potentiaalivärähtelyt aiheuttavat plasmavirtauksissa vaihteluja, jotka rajoittavat hiukkasten ajautumista ulos plasmasta.

Diplomityössä geodeettisia akustisia moodeja tutkittiin Aalto-yliopistossa kehitetyn ELMFIRE-koodin avulla. ELMFIRE mallintaa plasmaturbulenssia tokamakissa gyrokinettisen teorian pohjalta: laskennallista taakkaa kevennetään keskiarvoistamalla hiukkasten pyörimisliike magneettisten kenttäviivojen ympäri. Kun elektronien ja ionien koordinaatit on ratkaistu liikeyhtälöistä, voidaan lämpötilat, tiheydet ja sähkökenttä laskea hilapisteissä.

Simulaatiot suoritettiin käyttämällä saksalaisen TEXTOR-tokamakin parametreja (pikkusäde 0,46 metriä, isosäde 1,75 metriä). Simulaatiotapauksia valittiin seitsemän kappaletta, joissa vaihdeltiin lämpötilaa, magneettikentän voimakkuutta ja ionityyppejä eri parametrien vaikutuksen tutkimiseksi. Diplomityössä keskityttiin analysoimaan potentiaalista lasketun pikkusäteen suuntaisen sähkökentän värähtelyjä.

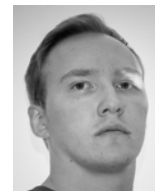
Fourier-muunnoksella lasketut taajuudet olivat keskimäärin 20 prosenttia suurempia kuin vastaavat teoreettiset arviot. Tämä oli odotettavissa kokeista ja aikaisemmista simulaatioista saatujen tulosten perusteella. Värähtelyjen aallonpituus säteen suunnassa puolestaan noudatteli teoreettista skaalautusta selkeämmin kuin kokeiden pohjalta voisi ennakoita.

Kokeissa ja simulaatioissa on aikaisemmin huomattu, että värähtelyt saattavat edetä sekä plasman ydintä että reunaa kohti. Diplomityön puitteissa tehdyt havainnot tukevat tätä. Reunaa kohti etenevien värähtelyjen nopeuden huomattiin skaalautuvan ionityypin funktiona lähes lineaarisesti. Korrelaatioanalyysissä puolestaan pystyttiin näkemään teorian mukainen kuva sähkökentän värähtelyjen ja toisaalta kuljetussuureiden välisestä suhteesta: hiukkasvuo ja sähkökenttä oskilloivat vastakkaisessa vaiheessa.

Diplomityössä tuloksia vertailtiin teoriaan ja koetuloksiin yleisesti. Tulevaisuudessa tutkimusta voidaan jatkaa suoraviivaisella vertailulla tiettyihin koejärjestelyihin, mikä vaatii simulaatioiden tarkempaa räätälöintiä kokeita vastaaviksi sekä asettaa myös uusia vaatimuksia koodille ja laskennallisille resursseille.

*Englanninkielinen diplomityö on hyväksytty Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulussa ?? 2013.*

*DI Paavo Niskala  
Tohtorikoulutettava  
Aalto-yliopisto, Teknillisen  
fysiikan laitos  
paavo.niskala@aalto.fi*



## *APROS:n fysikaalisten mallien epävarmuuksien vertaaminen PREMIUM-menetelmistä saatuihin tuloksiin*

### *Quantification of APROS' physical model uncertainties in the context of the PREMIUM benchmark*

Erityisesti tarkastelun alla olivat ne fysikaaliset mallit, jotka vaikuttavat reaktorisydämen tulvittamistilanteessa esiintyviin ilmiöihin.

**E**pävarmuuksien määrittäminen niin kutsuttujen Best-Estimate Plus Uncertainty -menetelmien avulla on kasvava trendi ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimuksessa. Eräs tapa, jolla BEPU-menetelmät voivat ottaa epävarmuudet huomioon, on syöteparametrien epävarmuuksien johtaminen koodien laskujen läpi. Tietty määrä simulaatioajoja suoritetaan muunnellen syötteitä epävarmuuksien mukaisesti ja tuloksista kerätään suurimmat ja pienimmät arvot. Seurauksena olostuloparametreille saadaan vaihteluväli, jonka sisälle todelliset arvot osuvat määrättyllä luottamuksella.

Termohydraulisten systeemikoodien tapauksessa syöteparametreihin voivat kuulua fysikaalisten suureiden, kuten tehon, lisäksi koodien fysikaalisten mallien kertoimet. Fysikaalisilla malleilla tarkoitetaan semi-empiirisiä korrelaatioita, jotka täydentävät termohydraulisten systeemikoodien pohjan luovat säilymislait.

Diplomityössä tutkittiin VTT:n Fortumin kanssa kehittämän termohydraulisen systeemikoodi APROS:n fysikaalisten mallien epävarmuuksia. Erityisesti tarkastelun alla olivat ne fysikaaliset mallit, jotka vaikuttavat reaktorisydämen tulvittamistilanteessa esiintyviin ilmiöihin. Työ suoritettiin osana SAFIR2014 UBEA-projektia.

Työssä katselmoitiin kolme kansainvälisessä PREMIUM-vertailulaskussa ehdotettua menetelmää epävarmuuksien määrittämiseen. Näihin kuuluvat Pisan yliopiston kehittämä FFTBM, ranskalaisen tutkimusorganisaatio CEA:n CIRCE ja Karlsruhen Teknillisen Instituutin KIT-menetelmä. PREMIUM toimii jatkumona kansainvälisessä tutkimustyössä BEPU-menetelmien käytöstä ja keskittyy juuri reaktorisydämen tulvittamistilanteessa käytettäviin fysikaalisiin malleihin niiden monimutkaisen luonteen takia, mikä myös tekee epävarmuuksien määrittämisestä haastavaa.

FFTBM ja CIRCE -menetelmiä käytetään työssä APROS:n kanssa yksinkertaiseen esimerkitapaukseen, Ruotsissa 1960-luvulla suoritettuihin FRIGG-kokeisiin. Sovelluksen tuloksena saadut kahden fysikaalisen mallin todennäköisyysjakaumat olivat niin leveät, ettei niitä voi käyttää suoraan muissa tutkimuksissa. Menetelmät kuitenkin tukevat

toisiaan, eikä niiden käytölle ole esteitä jatkotutkimuksissa APROS:n kanssa. Menetelmien käyttämisestä kertyneen luottamuksen turvin niitä sovellettiinkin työssä FEBA-tulvittamiskokeisiin PREMIUM-vertailulaskun vaiheen III puitteissa.

Aikaisemman työn tuloksena oli määriteltä kymmenen FEBA-kokeiden laskentaan vaikuttavaa fysikaalisiin malleihin kytkettyä syöteparametria, jotka tyypistettiin vielä kuuteen diplomityön aikana. Tämän jälkeen parametrien epävarmuudet selvitettiin käyttämällä CIRCE:n, FFTBM:n ja diplomityön aikana kehitetyn satunnaisvaihtelumenetelmän yhdistelmää.

Sovelluksen tuloksia, fysikaalisten mallien todennäköisyysjakaumia, käytettiin yhden PERICLES 2D -tulvittamiskokeen olostuloparametrien vaihteluvälien laskemiseen. Todennäköisyysjakaumista itsestään sekä PERICLES 2D -tuloksista nähdään, että APROS:n käyttämiin fysikaalisiin malleihin liittyvät epävarmuudet ovat suuria reaktorisydämen tulvittamistilanteessa.

APROS:n fysikaalisissa malleissa havaittujen poikkeamien sekä FFTBM ja CIRCE -menetelmien käyttämiseen liittyvän prosessin ongelmien takia epävarmuuksien vaihtelualueet ovat niin suuria, että niiden käytettävyys on rajoitettua. Diplomityön suurin anti onkin toimia hyvänä pohjana niin koodin jatkokehitykselle kuin BEPU-jatkotutkimuksille APROS:n kanssa.

*Englanninkielinen diplomityö on hyväksytty Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulussa tammikuussa 2014.*

DI Torsti Alku  
tutkija  
Ydinvoima-ala  
VTT  
torsti.alku@vtt.fi





## Sanomalehtikatsaus:

# Aina huonokin kartelli vapaan kilpailun voittaa

### **Finnivoima: aiomme noudattaa lakia ydinjätehuollossamme**

EURAJOKI (Länsi-Suomalainen, 8.11.2013) – Haahkakivi 1:n rakentamishankkeen uudessa ympäristövaikutusten arviointiohjelmassa tehty linjaus, että Finnivoiman ydinvoimalaitoksen käytetty ydinpolttoaine aiotaan loppusijoittaa ydinergeialain ja asetettujen periaatteiden edellyttämällä tavalla Suomeen tyrmistyttyä loppusijoituslaitosta Eurajoen Olkiluotoon rakentavaa Pasiva Oy:tä.

Työ- ja elinkeinoministeriölle eilen toimittamassaan lausunnossa Pasiva

kiirehtii korjaamaan yva-ohjelman luomia virhekäsityksiä sanomalla, ettei sen tehtävänä oikeastaan ole vastata mistään, vaan ”huolehtia ainoastaan omistajiensa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta.”

Finnivoiman perustamisesta saakka sitkeästi jatkuneeseen kilpailuun siitä, kuka saa rakentaa Suomeen seuraavan ydinjätteiden loppusijoituslaitoksen, ei uusin lausuntokierros tuonut juurikaan uutta. Teollisuuden Vaivan ja Fortunan omistama Pasiva on kilpailussa vahvoilla, koska yhtiö on oivaltanut hankkia omistukseensa maa-alueet Olkiluodosta – mukaan lukien Finnivoi-

mankin hallinnassa olleen Lastenmaan tilan –, jonka valtioneuvosto on yhtenä ja ainoana paikkana tähän toimintaan Suomessa osoittanut.

Nimettömänä pysyvä reaktori-insinööri totesikin Länsi-Suomalaiselle, että Pasivan ja omistajiensa mielestä ”Suomi on vapaa maa, ja Finnivoima saisi meidän puolestamme luvan tunkea jätteensä mihin tahansa onkaloon, kunhan ei meidän peräämme”, tarkoittaen ilmeisesti kallioperää. TI

### **Pääministerin sokka irtosi ydinjätekeskustelussa**

HELSINKI (STTT, 30.4.2014) – Tuskastuneena jatkuviin kysymyksiin Finnivoiman ydinvoimalaitoksen jätteistä, pääministeri Kattainen hämmästytti Hanhikivi 1:n periaatepäätöksen uudelleenleimaamista koskevassa lehdistötilaisuudessa aamulla toteamalla, ”Tiedättekös mitä? Me avataan ydinjätehuolto kilpailulle ja rajat tuonnille, ja joka pirun niemeen, notkoon ja saarelmaan pystytetään loppusijoituslaitos.”

Toimittajien hämmästellessä pääministerin yllättävää allegoriaa J. H. Erkon nuorsuomalaiseen kansalaislauluun, lisää oli tulossa: ”Kuulitte oikein. Jos tämä kansallinen malli, jossa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus tehdään Suomessa sulassa sovussa ja yhdessä paikassa on kerran niin syvältä, niin annetaan sitten saman tien halukkaiden sitten tehdä bisnestä Suomessa näillä jätteillä. Teeskennellään kaikki, että näistä periaatteista ei sovittukaan jo vuonna 1983.”

Pääministerin otsasuoni sykki näkyvästi hänen jatkaessaan: ”Ja tämä on kyllä sitten tasan viimeinen kerta, kun valtiovalta yrittää järjestää mitään kivaa suomalaiselle ydinvoimateollisuudelle. Toimintaa ei tästä eteenpäin rajoita tai ohjaa yksikään aikaisemmin tehty päätös. Tehkää jäteatomeillanne mitä lystätte, minua ei kiinnosta pätäkääkään. Mutta muistakaa, ettette tule ruinaamaan yhteiskunnalta enää yhtään palvelusta.” TI

### **Pasivalta täystyrmäys jätehuolto-monopolin romuttamiselle**

EURAJOKI (Raumlane, 1.5.2014) – Pääministeri Kattaisen eilinen linjaus, jossa valtiovalta luopuu vuonna 1983 tehdyistä ydinjätehuollon periaatteista ja sallii ydinjätteiden loppusijoituslaitosten rakentamisen Suomeen vapaasti sai Pasivan ja sen omistajat hikeentymään välittömästi.

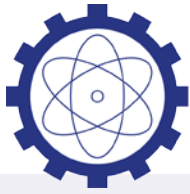
«On totta, että Pasiva on antanut viimeisten vuosien aikana järjestelmällisesti lausuntoja, jotka voidaan tulkita kannatuksena useamman kuin yhden käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamiselle Suomeen.», yhtiö toteaa tiedotteessaan, «Mutta nyt, kun pääministeri on esittänyt täyttä vapautta rakentaa useampia laitoksia, olemme vakuuttuneita, että ajatus kilpailusta on erittäin harkitsematon.»

Myös Fortunan johdossa seurataan erittäin huolestuneena tilanteen kehittymistä suuntaan, jossa valtiovalta ei puutukaan ydinjätteen loppusijoitukseen Suomessa. «On halveksuttavaa, että pääministeri omaksuu meidän kantamme tässä

asiassa. Meidän on jatkossa oltava tarkempia mielipiteidemme suhteen, ettei vastaava vihamielinen teko pääse toistumaan», valtionyhtiön viestintäpäällikkö totesi hätäisesti kokoon kutsutussa lehdistötilaisuudessa.

Valtioneuvoston kanslia välittikin myöhemmin iltapäivällä pahoittelunsa siitä, että pääministeri on nyt yhtä mieltä vakiintuneen teollisuuden aikaisemmin esittämän kannan kanssa. Pääministerin mukaan «yksimielisyyden tarkoituksena ei silti ollut loukata Pasivaa tai sen omistajia». Myönteisenä asiana pääministeri korosti sitä, että jätehuoltovelvollisilla on vihdoinkin täysi vapaus perustaa tai olla perustamatta keskenään yhteistyökyvyttömiä jätehuoltolaitoksia, ilman vähäisintäkään tarvetta ottaa yhteiskunnan kokonaisuutena huomioon.

Teollisuuden Vaivalle pääministerin selitellyt eivät kelvanneet. «Valtioneuvosto tekee vakavan virheen, jos se jatkaa kantojemme myötäilyä ja anteeksipyyntöjä.», TVA:n edustaja kommentoi Raumlanselle. TI



# ATS

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

## Johtokunta

Puheenjohtaja Chairperson	TkT Liisa Heikinheimo Teollisuuden Voima Oyj Puhelin + 358 (0)2 83 811 puheenjohtaja@ats-fns.fi
Varapuheenjohtaja Vice-chairperson	DI Tapani Raunio Fortum Power and Heat Oy tapani.e.raunio@fortum.com
Sihteeri Secretary	DI Anna Nieminen VTT sihteeri@ats-fns.fi p. +358 40 159 1156
Rahastonhoitaja Treasurer	TkT Arto Ylönen Lappeenrannan teknillinen yliopisto rahastonhoitaja@ats-fns.fi
Jäsenet Board Members	DI Essi Ahonen STUK essi.ahonen@stuk.fi
	DI Ilkka Männistö Fennovoima ilkka.mannisto@fennovoima.fi
	DI Juhani Palmu Posiva juhani.palmu@posiva.fi
	TkT Filip Tuomisto Aalto-yliopisto filip.tuomisto@aalto.fi
	TkT Timo Vanttola VTT timo.vanttola@vtt.fi

## Toimihenkilöt

ATS Young Generation	DI Ville Kakkonen Platom Oy ville.kakkonen@platom.fi
Kv-asioiden sihteeri International affairs	TkT Jari Tuunanen Fortum jari.tuunanen@fortum.com
Energiakanava Energy Channel WiN Finland	DI, FM Anna-Maria Länsimies, Fortum anna-maria.lansimies@ fortum.com
Ekskursios sihteeri	DI Juhani Palmu Posiva Oy juhani.palmu@posiva.fi
Www-vastaava	DI Heikki Suikkanen Lappeenrannan teknillinen yliopisto webmaster@ats-fns.fi
ATS-Info	TkT Seppo Vuori seppo.vuori@welho.com
ATS Seniorit	Tekn. lis. Eero Patrakka eero.patrakka@kolumbus.fi

## Toimitus ja yhteystiedot

### Julkaisija:

Suomen Atomiteknillinen Seura ry  
PL 78, 02151 Espoo  
www.ats-fns.fi

Lehti ilmestyy neljä kertaa  
vuodessa.

ISSN-0356-0473

Miktor

Vuoden 2014 lehtien teemat:

1/2014

ATS YG -ekskursio, tutkimus

2/2014

Ympäristöasiat

3/2014

ATS Työryhmät

4/2014

Ekskursio

### Päätoimittaja, Editor in Chief:

DI, FM Anna-Maria Länsimies  
ATS Ydintekniikka  
c/o Kymen Ydinviestintä  
PL 39, 48101 Kotka  
anna-maria@lansimies.com  
p. +358 50 561 5176

Taitto: Kymen Ydinviestintä

Yhteydenotot yleisissä asioissa,  
jäsenhakemuksissa, osoitteen  
ja sähköpostin muutoksissa  
seuran sihteeriin:  
Anna Nieminen  
sihteeri@ats-fns.fi  
p. +358 40 159 1156

### Erikoistoimittajat:

DI Lauri Rintala  
lauri.rintala@aalto.fi  
DI Eveliina Takasuo  
eveliina.takasuo@vtt.fi  
FM Johanna Hansen  
johanna.hansen@posiva.fi  
DI Riku Mattila  
riku.mattila@stuk.fi  
DI Pekka Nuutinen  
pekka.nuutinen@fortum.com  
DI Juha Luukka  
juha.luukka@fennovoima.fi  
YTK Pasi Tuohimaa  
pasi.tuohimaa@tvo.fi  
Haastattelutoimittaja:  
DI Klaus Kilpi  
klaus.kilpi@welho.com



**ATS:n**   
**uudet jäsenet**

**Varsinaiset jäsenet:**

---

Evgenii Malitckii, Aalto-yliopisto

**Opiskelijajäsen:**

---

Heikki Pulkkinen, Aalto-yliopisto

Antti Takkinen, Jyväskylän yliopisto

Janne Arkke, Jyväskylän yliopisto

Henrik Maula, Jyväskylän yliopisto

Matti Kaija, Tampereen teknillinen  
yliopisto

Janne Lehtipuro, Tampereen teknillinen  
yliopisto

Jori Hyrkäs, Tampereen teknillinen  
yliopisto

Petri Tikka, Tampereen teknillinen  
yliopisto



Palautusosoite:  
Suomen Atomiteknillinen Seura  
PL 78  
02151 ESPOO

**Kannatusjäsenet:**

**Alstom Finland Oy**

**B+Tech Oy**

**Fennovoima Oy**

**FinNuclear ry**

**Fortum Power and Heat Oy**

**Mirion Technologies (RADOS) Oy**

**Platom Oy**

**Pohjoismainen Ydinvaruutuspooli**

**Pohjolan Voima Oy**

**Posiva Oy**

**PrizzTech Oy**

**Saanio & Riekkola Oy**

**Siemens Osakeyhtiö**

**Teknologian tutkimuskeskus VTT**

**Teollisuuden Voima Oyj**

**TVO Nuclear Services Oy**

**Voimaosakeyhtiö SF Oy**

**Wärtsilä Finland Oy**