

# ATS Ydintekniikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA - ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND RY

4  2013 vol. 42



## Tässä numerossa:

- 3** Pääkirjoitus: ATS:n kansainvälisen toiminnan tarpeellisuus ja hyödyt
- 4** Editorial: The Needs and the Benefits of the International Activities for FNS
- 5** Tapahtumia
- 6** ATS-ekskursio 2.-13.10.2013 Kanadaan Ontarion alueelle
- 9** Ontario Power Generationin suunnitelma matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilaksi
- 12** Bruce site
- 14** AECL Nuclear Laboratories, Chalk River
- 17** Canadian Nuclear Safety Commission CNSC
- 19** Kanadan ydintekninen seura
- 20** Matala-aktiivisen jätteen maaperäsijoitusprojekti Port Hopessa
- 23** CAMECO, Port Hope
- 25** Canmet Materials, Hamilton
- 25** McMaster University, Hamilton
- 27** Babcock & Wilcox
- 29** Mirion Technologies
- 32** Diplomityö
- 33** Reaktorin laidalla
- 34** Yhteystiedot

## Ekskursio Kanadaan, Ontarion alueelle

## Päätoimittajalta

Vuosi ehti vaihtua, ennen kuin lehden viimeinen numero vuodelta 2013 kolahtaa jäsenten postilaatikkoon.

Jäsenlehtenä ATS Ydintekniikka elää ja voi hyvin. Pienet aikatauluviiveet kuuluvat asiaan, kun lehden sisältö kootaan vapaaehtoisvoimin. Kyselyissä lehteä pidetään arvokkaana jäsenetuna ja ajankuvana se toimii vielä vuosikymmentenkin kuluttua, kun seuraavat sukupolvet kokoavat vaikkapa 100-vuotishistoriikkia.

Ammatillisten ja tieteellisten yhdistysten jäsenlehdet ovat muun median

myllerryksessä joutuneet usein tarkastelun kohteiksi. ATS:ssä tätä keskustelua ei ole tarvinnut käydä. Kulueränä lehti on suuri, mutta jäsenistö on myös valmis näkemään vaivaa sen eteen.

Lukemalla, keskustelemalla ja kirjoittamalla me kaikki todistamme lehden tarpeellisuutta. Panostanne kaitaan myös vuonna 2014. Ideoikaa, kirjoittakaa, nykäskää kollegaa hihasta. Kaikki kontribuutiot ovat tervetulleita.

Ekskursioryhmän juttukimara on jälleen vailla vertaansa. Työ- tai nautuolimatkailu on sekin virkistävää, vaikka reissu jäi omalta osalta tällä

kertaa välistä. Kiitos kirjoittajille ja ekskursiosihteerille Juhanille, jonka järjestelmällisyyden avulla myös toimitus pysyy mukana vauhdikkaissa retkikuvauksissa!



Anna-Maria Länsimies  
päätoimittaja  
anna-maria.lansimies@fortum.com

## Talven kuva

Sisarukset Petra ja Taisto Laato voittivat Fortumin piparkakkutalokilpailun, jonka aiheena oli Loviisan voimalaitos. Piparkakkutalokilpailu järjestettiin ensimmäistä kertaa.



VTT tukee fissioenergian turvallista ja tehokasta käyttöä sekä ydinjätteen loppusijoitusta kehittämällä, kelpoistamalla ja soveltamalla kokeellisia ja teoreettisia menetelmiä. Reaktoriturvallisuuden aihepiiriin kuuluvat ydinpolttoaine, reaktorifysiikka, termohydrauliikka, vakavien onnettomuuksien ilmiöt,

rakenteiden toimivuus, reaktorimateriaalit, todennäköisyyspohjainen turvallisuusanalyysi, automaatio ja valvomosuunnittelu sekä organisatoriset ja inhimilliset tekijät.

Ydinjätetutkimuksessa keskitytään loppusijoituksen teknisten ja luonnollisten päästönesteiden toimivuuteen ja kapselointilaitosten teknologiaan. VTT

osallistuu myös merkittävästi ydinfuusion tutkimukseen lähinnä plasmafysiikan, fuusiomateriaalien ja etäkäsitteilyn aihepiireissä.



## ATS:n kansainvälisen toiminnan tarpeellisuus ja hyödyt

Ulkomaan ekskursion ovat olleet Suomen Atomiteknillisen Seuran keskeinen kansainvälinen toimintamuoto seuran toiminnan alkua ajoista saakka. ATS Ydintekniikka -lehden arkistosta löytyy ensimmäinen matkakertomus ulkomaan opintomatkaista jo lehden kolmannesta numerosta vuodelta 1973. Matkakohteina tällöin olivat Ruotsi ja Tanska, joiden ydintutkimukseen ja voimalaitoksiin oli tutustumassa 12 hengen ryhmä.

Mukana matkalla oli useita seuran toiminnassa yhä aktiivisesti mukana olevia henkilöitä. Tämä ATS Ydintekniikka -lehden numero käsittelee seuran vuoden 2013 ulkomaan ekskursion, joka tällä kertaa suuntautui Kanadaan. Matkan vierailukohteet antoivat monipuolisen kuvan tämän ydinenergian pioneeriin ydinvoiman tuotannon, tutkimuksen ja jätehuollon tilanteeseen.

Suomen Atomiteknillisen seuran ulkomaan opintomatkat on toimintamuoto, joka on pitänyt pintansa huolimatta siitä, että seuran jäsenet matkustavat tänä päivänä omilla työtehtävissään ja vapaa-ajallaan enemmän kuin seuran alkuaikoina. Ehkäpä syy siihen, että ekskursion ovat säilyttäneet asemansa on se, etteivät opintomatkat ole pelkästään vierailukohteisiin tutustumista ja verkottumista maamme ulkopuolelle. Seuran opintomatkat palvelevat verkottumistarpeita myös kotimaisten toimijoiden ja seuran eri ikäpolvia edustavien jäsenten välillä. Reilun viikon bussikiertueella kun tutustuu kollegoihin huomattavasti perusteellisemmin kuin asiapitoisissa kokouksissa ja jäsentilaisuuksissa kotimaassa.

\*\*\*

Seuran kuukausikokouksissa ja syysseminaarissa on vierailut säännöllisesti kansainvälisiä esitelmöitsijöitä. Viimeisimpänä näistä kansainvälistä laitoimittajaa edustava mutta selkeällä suomen kielellä esiintynyt Jukka Laaksonen, jonka VVER-aiheinen esitys veti Aalto-yliopiston saliin runsaasti kuulijoita. Seuran kannatusjäsenten tuella on

ollut mahdollista saada kansainvälisiä asiantuntijoita puhumaan ajankohtaisista aiheista seuran jäsentilaisuuksiin. Tieteellisenä seurana ATS voisi harkita joidenkin jäsentilaisuuksien avaamista myös suuremmalle yleisölle. Näin edistettäisiin osaltaan seuran sääntöjen toisen pykälän tavoitetta, jonka mukaan ATS:n tulee ”tieteellisen seuran ominaisuudessa edistää alan tuntemusta ja kehitystä maassamme”.

\*\*\*

Eurooppalaisten ydinteknisten seurojen yhteenliittymän ENS:n toiminnassa tieteellisten kokousten järjestäminen on viime aikoina ollut keskeisin toiminnan muoto. ENS:n ja sen tieteellisen neuvoston rooli on sen sijaan jäänyt valitettavan näkymättömäksi eurooppalaisessa ydinenergia-alan julkisessa keskustelussa.

Myös ENS:n julkaisutoiminta ja yhteydet tieteellisiin julkaisuihin ovat viime aikoina olleet vaatimattomia. Ydinvoimalan rakennemuutos, missä isot toimijat ovat yhdistyneet tai luopuneet kokonaan ydinteknisistä toiminnoistaan ja toiminnan painopiste on siirtynyt Euroopasta Aasiaan, on syönyt rahoitus pohjaa sekä jäsenseuroilta että ENS:lta.

Suomen Atomiteknisen Seuran jäsenten kannalta ENS on näkynyt lähinnä korkeatasoisten ja alalla arvostettujen kokousten, kuten esimerkiksi polttoaineasioihin keskittyvän TopFuel ja viestintäasioihin paneutuvan PIMEn, järjestäjänä.

\*\*\*

Uusimpana toimintamuotonaan ENS on ryhtynyt järjestämään Career Event -rekrytointitapahtumaa ENC-kokousten yhteydessä. Ulkomaisten asiantuntijoiden määrä Suomessa ydintekniikan alalla on ollut vähäinen, osin siksi että alan osaajilta vaaditaan suomen kielen taitoa. ENS:n ensimmäinen Career Event -tapahtuma on saanut paljon kiitosta osallistujilta ja tilaisuuteen kannattaisi myös suomalaisien organisaatioiden osallistua. Ovathan rekrytointitarpeet tulevissa laitoshank-

keissa merkittäviä. Myös tutkimuslaitoksille ja konsulttipalveluita tarjoaville yrityksille tapahtuma voisi tarjota mahdollisuuden rekrytoida osaavaa asiantuntijajoukkoa Suomeen.

Ensimmäisestä ENS:n kansainvälisestä tapahtumasta johon osallistuin, vuoden 1988 ENS:n NUCSAFE-kokouksesta Avignonissa on jäänyt mieleen hymyilevä kiinalaisherra, joka oli saapunut Euroopan ydintekniikan suurmaahan Ranskaan oppia ottamaan. Oppi on mennyt perille ja kiinalaiset ovat kovaa vauhtia ottamassa kiinni Ranskaa ydinvoiman tuotannossa, ja ovat jo ohittaneet oppi-isänsä siltä osin, mitä tulee laitosten rakentamisen aikataulujen pitämiseen. ATS on omassa toiminnassaan ammentanut oppia sekä lähinaapureilta että kaukomailta. Ammennetut opit ovat omalta osaltaan tukeneet ydinenergian turvallista ja tehokasta käyttöä maassamme. Seuraavan opintomatkan kohde löytynee Euroopasta. Pidemmän matkan aika on parin vuoden kuluttua. Ehkäpä sitten suuntaamme kohti Kiinaa, ottamaan oppia tästä tämän päivän ydinvoiman suurmaasta?



## *The Needs and the Benefits of the International Activities for FNS*

Excursions abroad have been a central international activity of the Finnish Nuclear Society (ATS) since the beginning. The first travel report was published already in the third number of the ATS Ydintekniikka periodical in 1973. The destination of the tour was Sweden and Denmark, were 12 members of ATS got to know the research activities and nuclear plants in operation and under construction. Many of the participants in this visit are still active members of the society.

This time ATS Ydintekniikka is dealing with the ATS-excursion to Canada this autumn. The visits gave a versatile picture of the status of the power production, research and waste management in this pioneering nuclear country.

The yearly excursion abroad has been a major ATS-activity with a constant and high interest even though the members of ATS are travelling today much more both in business and leisure than 40 years ago. One reason for that could be, that the excursions are not only a visit or networking abroad, but networking and familiarization between colleagues. One will learn to know the colleagues much better during a 10 days bus tour than in formal meetings or society events at home.

\*\*\*  
International lecturers have regularly visited the monthly meetings of the society. The last international speaker, speaking this time in plain Finnish, was Jukka Laaksonen, who's presentation about VVER-reactors attracted almost 100 members to the meeting to Aalto Yliopisto. With help of the supporting members of the society it has been possible to invite speakers to give presentations on current issues. As a scientific society ATS could consider opening some of its

monthly meeting for the general public. In this way it would promote the goal of the second moment of the statute of the society, according to which ATS should "as a scientific society promote knowledge and development of its branch in our country".

\*\*\*  
ENS, the mother organization of the nuclear societies in Europe, has had focus in its activities on arranging international conferences. The role of ENS and its scientific council in the European public debate has been modest. The structural changes in nuclear business worldwide, which have led big companies to either cease or merge their activities in nuclear business with other companies, and where the focus in operation and new build has moved to Asia, has reduced financial support to ENS and it's member societies. For members of ATS ENS has been mainly an organizer of high-level scientific conferences, such as TopFuel in the nuclear fuel and PIME in the communication area.

During the last ENC conference ENS started a new activity with its Career Event recruitment event. The number of foreign experts in nuclear field in Finland has been low, partially due to the fact that fluent Finnish is a prerequisite for working here. The first ENS Career Event got a lot of positive feedback from the participants and it would be worthwhile for Finnish organizations to participate in the event. There will be large recruitment needs in the new plant projects. The recruitment event would also provide the research institutes and consulting companies a forum to recruit European experts to Finland.

\*\*\*  
From my first ENS event, the NUCSAFE

conference in Avignon in 1988, I remember a smiling Chinese fellow, who had come to France to learn from this European nuclear power. Chinese people have learned their lessons and China is rapidly approaching France in nuclear power production, and what comes to keeping the construction schedule, it has already passed its master. ATS has in its activities tried to learn from our neighbouring countries and from countries far-off. The lessons learned have supported safe and effective use of nuclear power in our country. The destination of the next ATS excursion will most probably be in Europe. The time for excursion to far-off countries will be after that. Maybe it is time then to head to China to learn from the country that has become the greatest nuclear power country of today.



# Syysseminaari 19.11.2013

ATS:n syysseminaari pidettiin 19.11.2013 Säätytalolla Helsingissä. Tänä vuonna seminaari jakautui teemallisesti kahteen osioon.

Puheenjohtajan tervetuliaissanon jälkeen ATS:n sanastotyöryhmän vetäjä **Olli Nevander** esitteli työn tulosta otsikolla Sanasto2013 – termejä, tiedettä ja tekniikkaa.

Päivitetty sanasto sisältää kaikkiaan noin 1300 ydintekniikan sanaa kuudella kielellä: suomi, ruotsi, englanti, saksa, venäjä ja ranska, sekä termien määritelmät suomeksi ja englanniksi.

Tämän jälkeen kuultiin voimayhtiöiden ajankohtaiset kuulumiset Fennovoiman toimitusjohtajan **Juha Nurmen**, Fortumin Technical Support -yksikön johtajan **Jyrki Kohopään** ja TVO:n toimitusjohtajan **Jarmo Tanhuan** esittelyinä. Yleisö tiedusteli aktiivisesti yhtiöiden erilaisten projektien etenemisen yksityiskohdista.

Seminaarin toisessa osiossa pyrittiin vastaamaan kysymykseen, ”Mihin tutkimusinfrastruktuuria tarvitaan?”. Teemaa pohjustettiin professori **Filip Tuomiston** (Aalto) esityksellä kansallisesta tutkimusinfrastruktuuriyhteistyöstä. Esityksessä muistutettiin, että huolimatta nykyaikaisen mallinnuksen tehokkuudesta ja tarkkuudesta, ”kokeellinen tutkimus on insinöörialojen ja luonnontieteiden perusta”. Suomen kokoisessa maassa yhteistyö on ainoa keino saavuttaa järjestyä kokonaisuuksia suurissa hankkeissa.

Pohjustuksen jälkeen kuultiin esityk-

set merkittävimmistä infrastruktuuripainostuksista: VTT:n ydinturvallisuustalo -hanketta esitteli **Wade Karlsen** (VTT), Otaniemen tutkimusreaktorin käytöstäpoiston valmistelua valaisi **Olli Vilkkamo** (VTT) ja Lappeenrannan tutkimustoimintaa – tänään ja huomenna esitteli **Arto Ylönen** (LUT). Lisäksi kuultiin esitys osallistumisesta kansainvälisiin tutkimusreaktoriprojekteihin **Petri Kinnuselta** (VTT). OECD:n Halden -ohjelmassa Suomi on mukana ainakin vielä kaudella 2015–2017. Uusi Ranskaan rakennettava Jules Horowitz –tutkimusreaktori (JHR MTR) tulee valmistuttuaan korvaamaan vanhenevia tutkimusreaktoreja ja tarjoaa aivan uusia tutkimusmahdollisuuksia käyttäjilleen. Tällä hetkellä käytössä olevien Eurooppalaisten materiaalintausreaktorien keski-ikä on jo 50 vuotta. Suomen 2 %:n osuus JHR-hankkeessa toteutetaan toimittamalla reaktoriin kolme teknistä järjestelmää.

Seminaariin osallistui kaikkiaan 107 henkeä ilmoittautuneesta 143:sta. Poisjääneiden lukumäärä oli harmittavan suuri.

*Teksti ja kuvat:  
DI Anna Nieminen  
Sihteeri  
sihteeri@ats-fns.fi*



*Sanastoaktiivit Seppo Vuori ja Olli Nevander*



*Juha Nurmi, Fennovoima*



*Jyrki Kohopää, Fortum*



*Jarmo Tanhua, TVO*



*Arto Ylönen, LUT*



*Filip Tuomisto, Aalto*



*Olli Vilkkamo, VTT*

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

ATS-ekskursio 2.–13.10.2013

# Kanadaan Ontarion alueelle

Suomen Atomiteknillisen Seuran ekskursion tavoitteena oli tutustua sekä uraanin kierron eri vaiheisiin valmistuksesta käytön, välivarastoinnin ja jälleenkäsittelyn kautta loppusijoitussuunnitelmiin että toimialaan liittyvään tutkimus- ja valmistustoimintaan.



## ATS:n Kanadan ekskursion matkapäiväkirjasta

Pilvien reunoilta olimme nähneet jääpeitteiden tulleen Olkiluodon ylle ja jäävirtojen valuvan vähemmän juoheina kohti mannerjään reuna-alueita. Elimme vuotta 33013.

Ilmastomuutos oli siis selvästi etenevässä, ja olimme juuri saapuneet Grönlannin yläpuolelle Keflavikin lentokentän välilaskun jälkeen. Edessä oli laskeutuminen Toronton Pearsonin kentällä, jonka jälkeen siirryimme Kinkardineen ottaaksemme muutaman tunnin väliuudet. Matkamme oli alkanut.

## OPG (Ontario Power Generation), Kincardine

Ensimmäinen vierailukohteemme oli Ontario Power Generation (OPG) Huron-järven rannalla noin 200 km Torontosta länteen. Tutustuimme sekä matala- ja keskiaktiivisten jätteiden että käytetyn polttoaineen välivarastointiratkaisuihin.

OPG on aloittamassa matala- ja keskiaktiivisten jätteiden loppusijoituksen geologisen loppusijoituslaitoksen (Deep Geological Repository, DGR). WWMF (Western Waste Management Facility) käsittelee ja välivarastoi tällä hetkellä matala- ja keskiaktiivista jätettä, jota on syntynyt ja syntyy kolmella ydinvoimalaitoksella (Pickering, Darlington ja Bruce).

Yksi matkalaisistamme jäi käytetyn polttoaineen varaston uloslähdön mittauspisteeseen muutamaksi tunniksi vaatteista löytyneiden kotimaisten korboltijäämien vuoksi, mikä kertoi meille ainakin paikallisten mittareiden tarkkuudesta. Osa vaateuksesta jäi loppusijoitettavaksi Brucen niemimaalle.

## NWMO (Nuclear Waste Management Organisation), Kincardine

Samalla alueella OPG:n kanssa toimiva NWMO (Nuclear Waste Management Organisation) kertoi meille vierailumme aikana käytetyn polttoaineen loppusijoitussuunnitelmista ja alueella tehdystä sijoituspaikkatutkimuksista.

Saimme kuulla meille suomalaisille ydinenergia-alalla toimijoille kovin tu-

tusta, mutta kuitenkin hyvinkin erilaisesta loppusijoituskonseptista, jossa teräksistä loppusijoituskapselia ympäröi vain n. 1½ mm:n paksuinen kuparikerros.

Yhdessä Kanadan valvojan viranomaisen (CNSC) kanssa järjestetyt viralliset kuulemiset olivat meneillään vierailumme kanssa samanaikaisesti Kincardinessa. Ehdokaspaikkakuntia loppusijoituspaikkakunnaksi on runsaasti ja loppusijoitus arvioidaan aloitettavan Kanadassa aikaisintaan 2030-luvulla.

## Bruce Power, Kincardine

Myös kolmas kohteemme sijaitsi samalla alueella OPG:n ja NWMO:n kanssa. Kävimme tutustumiskäynnillä Bruce Powerin Bruce A -ydinvoimalassa, joka koostuu neljästä 750 MWe:n CANDU (CANada Deuterium Uranium) -reaktorista, jotka käytännössä olivat yhtä samaa laitosrakennusta. Voimalassa oli yksi keskitetty samassa huonetilassa oleva valvomo, jossa kullekin reaktorille oli oma ohjaussektorinsa. Voimalan sisätiloissa reaktorihalleja erotti lattiaan maalattu erotuslinja.

## AECL Chalk River Laboratories (Atomic Energy of Canada Limited), Chalk River

Chalk Riverissä Ottawa-joen rannoilla tutustuimme jo historialliseenkin ydintutkimuskeskukseen, jossa tuotettiin Manhattan-projektin ydinpommien tarvitsemia plutoniumia ja jossa vuonna 1952 joulukuussa NRX-reaktorin ydin



pääsi osittain sulamaan.

NRX-reaktorin onnettomuus oli maailman ensimmäisiä merkittäviä reaktorionnettomuuksia. NRX oli kaksivuotisen puhdistusprojektin jälkeen käytössä 45 vuotta ja se suljettiin vuonna 1993. Tutustuimme mm. mainittuun NRX-reaktoriin, laserhitsausmenetelmiin ja autoklaaveihin. Täälläkin, kuten Brucen alueellakin, olivat käytössä pommintunnistimet laitosalueelle kuljettaessa.

### CNSC (Canadian Nuclear Safety Commission), Ottawa

Ottawan vierailulla perehdyimme Kanadan valvojan viranomaisen CNSC:n toimintaan. Kerroimme STUK:n Jarkko Kyllösen ja Fortumin Ville Koskisen esityksin Suomen tilanteesta ydinenergia-alalla. Kuulimme Kanadan ydinlaitosten lisensioinnista, Fukushima onnettomuuden aiheuttamista muutoksista, ydinjätteen loppusijoituksesta, uraanikaivostoiminnasta ja ydinpoltoaineen valmistuksesta.

### AECL, Port Hope Area Initiative (PHAI) -projekti, Port Hope

Port Hopessa meille kerrottiin AECL:n PHAI-projektista, jossa pyritään poistamaan ja loppusijoittamaan uraanikaivostoiminnan myötä syntyneitä matala-aktiivista jätettä, jota on aikanaan käytetty rakennustöissä mm. talojen perustuksissa. AECL:n esityksen ja kaupungin alueella tehdyn kiertoajelun jälkeen kau-

pungin pormestari oli järjestänyt meille lounastilaisuuden Port Hopen kaupungintalolla.

### Cameco, Port Hope

Camecon (Canadian Mining and Energy Corporation) konversiolaitoksilla Port Hopessa tutustuimme uraanijalostuksen uraanidioksidin (UO<sub>2</sub>) ja uraaniheksafluoridin (UF<sub>6</sub>) valmistukseen. Cameco perustettiin vuonna 1988 yhdistämällä Eldorado Nuclear Limited ja Saskatchewan Mining Development Corporation.

### CNS (Canadian Nuclear Society), Mississauga

CNS tarjosi meille laajan ja maittavan illallisen Mississaugassa. Illallistapaamisemme oli tullut runsaasti CNS:n jäsenistöä ja meidät vastaanottivat mm. CNS:n tuleva presidentti Adriaan Buijs ja CNS:n toimitusjohtaja Benjamin Rouben. Viirin ja vierailulahjat jaettuamme jatkoimme vielä matkaamme ihaillemaan Niagaran Fallsin valaistuja kuohuja ennen saapumistamme Niagara-on-the-Laken hotelliimme.

### CANMET Materials ja McMaster University, Hamilton

CANMET Materials on Kanadan suurin metallien ja materiaalien valmistukseen, käsittelyyn ja analysointiin keskittynyt tutkimuskeskus. Laitoskierroksella esiteltiin metallien valmistukseen liittyviä tutkimus- ja valmistuslaitteita. McMas-

## *Osallistujat*

- Heikinheimo, Liisa
- TVO
- Ikonen, Antti
- Saanio & Riekkola
- Jantunen, Erkki
- Platom
- Koskinen, Ville
- Fortum Power and Heat, Keilaniemi
- Kyllönen, Jarkko
- STUK
- Lehtimäki, Tomas
- SKB
- Lydman, Jari
- VTT
- Miettinen, Ari
- TVO
- Nieminen, Päivi
- Fortum Power and Heat, Keilaniemi
- Palmu, Juhani
- Posiva
- Palomäki, Timo
- TVO
- Pellinen, Kaisa
- Fortum Power and Heat, Keilaniemi
- Rintala, Päivi
- TVO
- Ronkainen, Tanja
- Fortum Power and Heat Oy, Loviisa
- Ruuska, Vesa
- Posiva
- Vuori, Seppo
- seniorit



Niagara Falls. Kuva: Kaisa Pellinen



Kuljettaja Val vastasi yhteensä 2000 km bussikuljetuksista. Kuvat: Juhani Palmu.

ter-yliopiston esittelykierroksella tutustuimme mm. erilaisiin elektronimikroskooppeihin. Lisäksi tutustumiskohteena oli myös yliopiston 5 MW:n vesiallastyyppinen tutkimusreaktori (MacMaster Nuclear Reactor, MNR), joka oli otettu käyttöön jo vuonna 1959.

### Babcock & Wilcox Canada, Cambridge

Babcock & Wilcoxin valmistaa ydinenergiatoimijoille mm. höyrystimä, lämmönsiirtimiä, reaktoripainesäiliön kansiä ja käytetyn polttoaineen kuivarastossäiliöitä, joita mm. olimme jo aikaisemmin matkamme aikana nähneet käytössä OPG:n käytetyn polttoaineen välivarastossa. Lisäksi meille esiteltiin modulaaristen reaktoreiden konseptia, jossa reaktorisydän ja höyrystin on yhdistetty. Esittelyn jälkeen matkasimme vielä samassa kaupungissa sijaitsevaan Mirion Technologies -yhtiöön.

### Mirion Technologies (IST Canada) Inc., Cambridge

Mirion Technologies, jolla on myös suomalainen tytäryhtiö, otti meidät vastaan suomenkielisin tervetuloivotuksin.

Yhtiö valmistaa mm. reaktorisydämeen asennettavia ilmaisyksiköitä, joiden kokoonpanoa pääsimme seuraamaan. Tämän jälkeen lähdimme kohti Toronto Pearsonin kansainvälistä lentokenttää.

### Matkan varrella

Matkalla ehdimme myös vierailla Sainte Marie among the Hurons -lähetysaarnajamuseossa Midlandissa, Algonquinluonnonpuistossa osin kanotoimassa ja kalastamassa vähällä saaliilla, perehtymässä viinin valmistuksen saloihin Peller Estates -viinitilalla sekä ihailemassa Niagara Fallsin kuohuja, osin jopa yläilmoista helikopterilennolta. Muutamat ehdivät jopa käymään NHL-ottelujen huumassa USA:n puolella. Islannin välipysähdyksellä saimme vielä hämmästellä meille hyvin erilaisia luonnonmuodostelmia.

### Loppusanat

Ehdimme kokea ja nähdä paljon ydinenergiatekniikan kehitykseen ja nykypäivään liittyen. Bussimatkoja kertyi 2000 km, ja näimme laajalti Ontarion aluetta luonnonpuistoja myöten. Kiitos kaikille matkalla ja sen järjestelyissä mukana ol-

## Vierailukohteet

- OPG (Ontario Power Generation), Kincardine
- NWMO (Nuclear Waste Management Organisation), Kincardine
- Bruce Power, Kincardine
- AECL Chalk River Laboratories (Atomic Energy of Canada Limited), Chalk River
- CNSC (Canadian Nuclear Safety Commission), Ottawa
- AECL, Port Hope Area Initiative (PHAI) -projekti, Port Hope
- Cameco, Port Hope
- CNS (Canadian Nuclear Society), Mississauga
- CANMET Materials ja McMaster University, Hamilton
- Babcock & Wilcox Canada, Cambridge
- Mirion Technologies (IST Canada) Inc., Cambridge

leille osallistujille ja organisaatioille mukavasta matkasta.

Kiitos Fennovoimalle, Fortumille, Platomille, Posivalle, Saanio & Riekkolalle, SKB:lle, TVO:lle ja VTT:lle kullekin osaltaan ekskursionne tarjoiluihin ja yrityslahjoihin osallistumisesta.

Many thanks to Mr. **Frank King** (Vice President, NWMO) and Mr. **David Dixon** (Senior Geoscientist, Golder Associates Ltd.) for the great helpful in assisting us in our excursion arrangements.

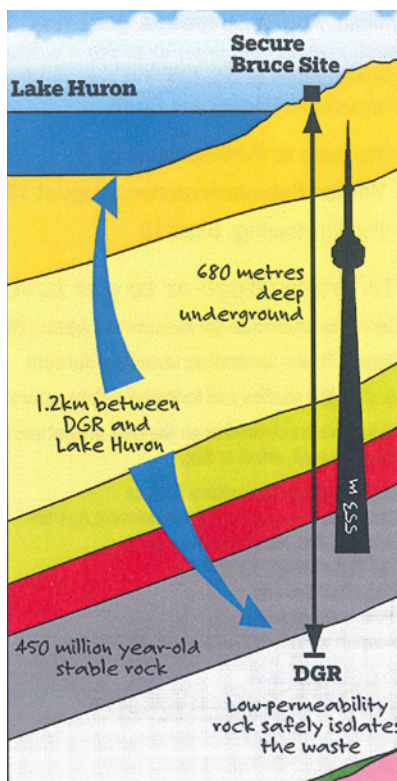
Absolutely fantastic and cheerful greetings and thanks for our extraordinary, enthusiastic and lovely driver Ms. **Val** and our Orange for the great ability and flexibility to serve us for our pleasure.



DI Juhani Palmu  
Projektipäällikkö  
Yhtiöpalvelut,  
tietohallinto ja tietoturvasuhteus  
Posiva Oy  
juhani.palmu@posiva.fi



# Ontario Power Generationin suunnitelma matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitustilaksi



OPG:llä on jätteistä myös sosiaalinen vastuu. Alueen kunnat haluavat yhtiön huolehtivan maan pinnalla välivarastoidut jätteensä jo lähitulevaisuudessa pysyväksi tarkoitettulla ja turvallisella tavalla.

Ehdotettu loppusijoituslaitos sijaitsisi OPG:n Kincardinessa Ontariossa sijaitsevan jätteenkäsittelylaitoksen (Western Waste Management Facility, WWMF) yhteydessä. WWMF käsittelee ja välivarastoi tällä hetkellä matala- ja keskiaktiivista jätettä, jota on syntynyt ja syntyy kolmella ydinvoimalaitoksella (Pickering, Darlington ja Bruce).

Loppusijoituslaitokseen sijoitettaisiin noin 200.000 m<sup>3</sup> matala- ja keskiaktiivista jätettä, joka on syntynyt OPG:n omistamissa tai käyttämissä ydinvoimalaitoksissa Ontariossa.

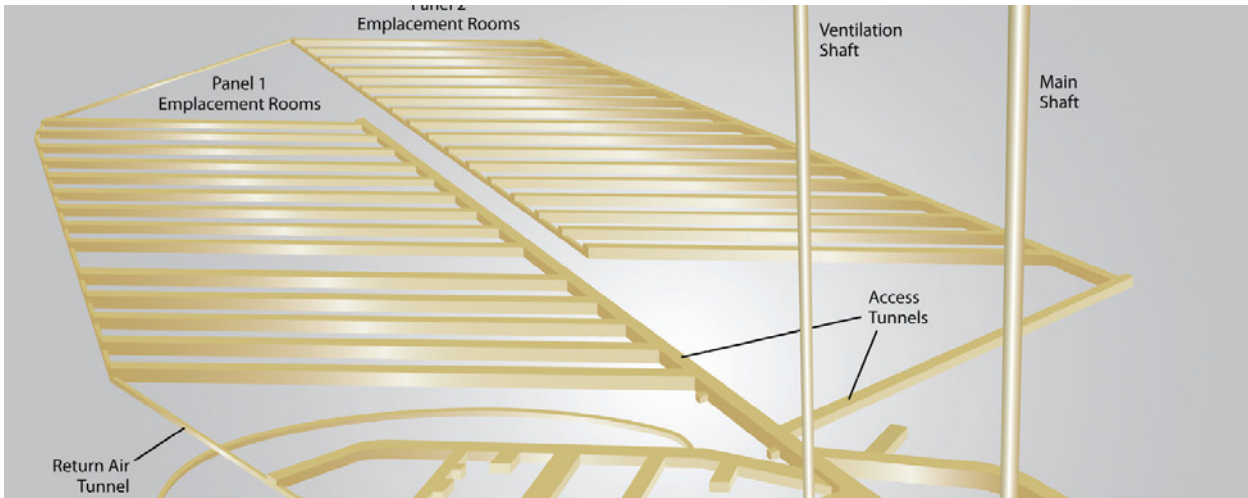
Keskiaktiivisen jätteen osuus on noin 5 prosenttia loppusijoitettavasta jätemäärästä. Laitosten käytöstäpoistojätettä ei (ainakaan toistaiseksi) olla sijoittamassa Loppusijoituslaitoksen geologinen ympäristö. Kuva: OPG.

sa tähän DGR-loppusijoituslaitokseen. Käytetylle ydinpolttoaineelle on myös DGR-laitoksesta täysin erillinen loppusijoitussuunnitelma.

## Sopivat kivikerrokset syvällä

DGR-loppusijoituslaitos on suunniteltu noin 680 metrin syvyyteen tiiviiseen kalkkikivikerrokseen. Laitoksen päällä ja alla on 450 miljoonaa vuotta vanhoja ja tiiviitä kivilajikerroksia, jotka muodostavat useita luonnollisia päästöesteitä ja eristävät jätteet ihmisen elinympäristöstä. Näiden kerrosten oletetaan pysyvän stabiileina vielä ainakin muutaman miljoonan vuoden ajan.

Suurehkon syvyyden valinta johtuu sopivien kivilajikerrosten sijainnista laitospaikan kohdalla: mikäli sopivat kerrokset sijaitsisivat lähempänä maan pintaa, voitaisiin laitos rakentaa huomattavasti lähemmäs maan pintaa. Laitospaikka sijaitsee seismisesti rauhallisella alueella, missä voimakkaat maanjäristykset ovat erittäin epätodennäköisiä.



DGR loppusjoiutuslaitoksen layout-suunnitelma. Kuva: OPG.



Matala-aktiivisen jätteen loppusjoiutus-tunneli. Kuva: OPG.



Keskiaktiivisen jätteen loppusjoiutus-tunneli. Kuva: OPG.

## Valmistelu ja rakentaminen

Loppusjoiutuslaitoksen rakentaminen alkaa valmisteluilla, infrastruktuurin rakentamisella ja kuilurakennusten sekä jätepakkausten vastaanottorakennuksen toteuttamisella. Myös ilmanvaihtojärjestelmät vaativat omat rakennelmansa.

Seuraavaksi louhitaan kaksi kuilua ns. kuilunajomenetelmällä (shaft sinking), jossa kuilut louhitaan ylhäältä alaspäin poraus-räjäytysmenetelmällä. Kanadalaisilla on kaivosteollisuutensa vuoksi paljon kotimaista kokemusta ja kalustoa kuilunajoon, joka on nykyään maailmanlaajuisestikin melko harvinainen tekniikka. Kuilujen yläosassa lähikallion vesivuodot otetaan haltuun injektioimalla tai tarvittaessa jopa jäädyttämällä noin 160 metrin matkalla.

Pääkuilun ja poistoilmakuilun louhinta seuraavat teknisten tilojen ja yhteystunnelien louhinta. Teknisiin tiloihin tulee mm. toimistotyöpisteitä, turvatilat,

taukotilat, laboratoriotilat sekä korjaamo- ja kokoonpanoverstas. Varsinaiset 250 m pitkät ja 7–8 m korkeat loppusjoiutus-tunnelit (noin 30 kpl) louhitaan viimeisenä. Valmistelu ja rakentamisvaiheen arvioidaan kestävän 5–7 vuotta.

Pääkuilun kautta hoidetaan ihmisten, laitteiden, jätepakkausten ja tuloilman siirto. Poistoilmakuilun kautta hoidetaan poistoilman siirto ja rakennusvaiheessa louheen nosto. Lisäksi poistoilmakuilu toimii varauskäyntinä loppusjoiutuslaitoksesta.

## Käyttö ja käytöstäpoisto

Käyttövaiheessa jätepakkaukset vastaanotetaan, siirretään ja sijoitetaan loppusjoiutus-tunneliin. Samaan loppusjoiutus-tunneliin laitetaan vain joko matala- tai keskiaktiivista jätettä. Loppusjoiutus-tunnelin täytyttyä sen suulle rakennetaan sulkuseinä. Jätteiden sijoituksen ja siihen liittyvän monitoroinnin arvioidaan kes-

tävän noin 40–45 vuotta (ja josta sijoittaminen vie 35–40 vuotta).

Käytöstäpoistovaiheessa mm. kuilut tulpataan ja täytetään sekä maanpintarakennukset puretaan. Todennäköisesti myös monitorointia jatketaan. Käytöstäpoiston on arvioitu kestävän noin 5 vuotta. Käytöstäpoistovaihetta seuraa vielä institutionaalinen kontrolli noin 300 vuoden ajan. Loppusjoiutetut jätteet tulevat olemaan myös palautettavissa, vaikkei sille tiedetä olevan tarvetta.

## Aikaisin mahdollinen aloitus ensi vuonna

ATS:n opintomatkan aikana olivat käynnissä julkiset kuulemiset DGR-loppusjoiutuslaitoksen ympäristövaikutusten arvioinnin pohjalta ja niiden aineistoon tämäkin artikkeli pääosin perustuu. Lupa rakentamiselle saataneen aikaisintaan 2014.



DI Antti Ikonen  
Saanio & Riekkola Oy  
Osastopäällikkö  
Loppusjoiutus-tekniikka  
antti.ikonen@sroy.fi

# NWMO:n suunnitelmat käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamiseksi

OPG:n vierailun jälkeen saatuamme lounasta pääsimme kuulemaan Nuclear Waste Management Organisation (NWMO) toiminnasta ja suunnitelmista.



Kanadassa AECL oli 1980- ja 90-luvuilla tutkinut käytetyn polttoaineen loppusijoitusta ja esittänyt geologista loppusijoitusta turvalliseksi vaihtoehdoksi. Viranomaiset olivat pitkällisen harkinnan jälkeen tulleet johtopäätökseen ettei hanke ollut turvallinen, koska hankkeelta puuttui sosiaalinen hyväksyttävyyttä. Tämän hankkeen kaaduttua perustettiin NWMO 2002 lakimuutoksen yhteydessä.

NWMO toimii Brucen alueella OPG:n toimeksiannosta DGR-laitoksen suunnittelijana, rakentajana ja myöhemmin operoijana. **Jim Mclay** esitteli meille Brucen alueella tehtyä geologista tutkimusta. Alueella on otettu seismisten tutkimusten ohella kairauksia eri paikoissa,

jotta voidaan varmistua kallioperän kivikerroksista. **Jim Mclay** esitteli kairasydämissä esiintyviä kivikerroksia ja kertoi niiden geologisesta historiasta.

## Käytetyn polttoaineen loppusijoitushanke

Tekniset ratkaisut loppusijoituksessa on perustettu KBS3-V:n ja Nagran konseptiin joista niitä on kehitetty eteenpäin Kanadan olosuhteisiin ja vaatimuksiin sopiviksi. NWMO on tässä tarkoituksessa tutkinut erilaisia hitsausmenetelmiä teräkselle ja on päätyvässä laserhitsauksen kapselin sulkemisessa. Korroosioesteeksi on valittu kupari, mutta kuparikerroksen paksuus on huomattavan ohut, vain 1,25 mm. Kuparivaippa tehtäisiin ruiskutusprosessilla, jolloin se olisi tiiviisti kiinni teräskapselin pinnalla.

Koska edellisellä yrittämällä merkittävämmäksi esteeksi käytetyn polttoaineen loppusijoitukselle oli noussut sosiaalinen hyväksyttävyyttä, NWMO panostaa siihen nyt merkittävästi. NWMO on ottanut käyttöön moniportaisen ohjelman *Adaptive Phased Management*, jota **Jo-Ann Facella** ja **Mike Krizac** esittelivät. Tarkoituksena on sitouttaa loppusijoituslaitosta ympäröiviä yhdyskuntia hankkeeseen

informaation ja vuorovaikutuksen avulla.

Vierailun aikaan 21 yhdyskuntaa, mukaan lukien kaksi alkuperäiskansaa, oli ilmoittanut halukkuutensa kuulla lisää loppusijoituslaitoksesta sekä tutkia heidän kallioperän soveltuvuutta laitokselle. Ohjelmaan osallistuminen ei vielä sido yhteisöä mihinkään, ja se voikin lopettaa sen omasta tahdostaan. Myös Kanadan ydinennergiaviranomaisen CNSC on ohjelmassa mukana, tarjoten yhteisöille riippumatonta tietoa.

Optimistisimmassa arvioissa Kanadassa voitaisiin aloittaa käytetyn polttoaineen loppusijoittaminen vuonna 2035.



CANDU reaktorin polttoaine-elementti. Kuva NWMO.



DI Ville Koskinen  
Suunnitteluluinsinööri  
Ydinjäteosasto  
Fortum Power and Heat Oy  
ville.koskinen@fortum.com

Torstai 3.10.2013

# Bruce site

Torstaina 3.10. päivän ensimmäisenä kohteena oli Brucen piirikunnassa Kincardinessa Huronjärven itärannalla sijaitseva *Bruce Nuclear Generating Station*. Laitoksen omistajana toimiva julkinen yhtiö *Ontario Power Generation (OPG)* on vuokrannut sen käytön pitkäaikaisella sopimuksella yksityisen sektorin *Bruce Power* -konsortiolle.



Aukeaman kuvat: Juhani Palmu.

Laitoksen tuotanto kattaa n. 25 % Ontarion alueella kulutetusta sähköstä. Reaktoreiden lukumäärällä sekä niiden yhteisteholla, n. 6200–6300 MWe, mitattuna sitä voidaan pitää nykyisin maailman suurimpana ydinvoimalaitoskokonaisuutena. Laitoskokonaisuus koostuu A- ja B-laitoksista, joilla molemmilla on neljä toimivaa CANDU (*CAN*ada *D*euterium *U*ranium) -reaktoria. Näistä A-laitoksen reaktorit on alunperin otettu käyttöön vuosina 1977–1979 ja B-laitoksen reaktorit 1984–1987.

A-laitoksen reaktorit poistettiin käytöstä 1990-luvun jälkimmäisellä puoliskolla, mutta kasvaneen sähkönkulutuksen vuoksi kaikki neljä reaktoria on palautettu vaiheittain käyttöön vv. 2003–2012. Ennen reaktoriyksiköiden A1 ja A2 ottamista uudelleen käyttöön niille tehtiin mittavia kunnostustöitä mm. vaihtamalla höyrystimet, jotka ovat *Babcock & Wilcox Canadian* toimittamia pystyhöyrystimisiä, sekä uusimmalla reaktorissa polttoainetta ympäröivät paineputket eristeputkineen.

Tavoitteena on pitää yksiköt A1 ja A2 käytössä vuoteen 2043, mikä tarkoittaisi 66 vuotta niiden alkuperäisestä teho-

tuotannon käynnistyksestä ja 74 vuotta rakentamisen aloittamisesta. Yksiköiden A3 ja A4 suunniteltu käyttö jatkuu vuoteen 2036 asti ja B-laitoksen reaktorit on tarkoitus poistaa käytöstä vv. 2015–2019. Reaktoriyksiköiden nettotehot ovat (*Bruce Powerin* sivuston mukaan) A-laitoksella  $4 \times 750$  MWe ja B-laitoksella  $4 \times 822$  MWe (esim. *CANDU Owners Group inc:*in ilmoittamat luvut eroavat hieman em. tehoarvoista).

Alueella on aiemmin toiminut myös kolme raskaan veden tuotantoyksikköä sekä Kanadan ensimmäinen CANDU-tyyppinen täyden mittakaavan voimalaitos Douglas Point. Tämä vuosina 1968–1984 toiminut voimalaitosversio tuotti arvokasta tietoa ja kokemusta myöhempien CANDU-laitosten kehittämiseen.

CANDU on alkuaan 1950-luvun lopulla ja 1960-luvulla kehitetty painevesireaktorityyppi, jossa moderaattorina (neutronihidasteena) ja primäärijäähdytyspiiriin jäähdytteenä käytetään raskasta vettä. Raskas vesi -hidasteen ansiosta CANDU-reaktoreissa voidaan käyttää U-235 -isotoopin suhteen väkevimätöntä luonnonuraania polttoaineena.

Sylinterimäiset polttoaineputket, jotka



ovat n. 50 cm pitkiä ja 10 cm halkaisijoiltaan, on sijoitettu primäärijäähdytyspiiriin liitettyihin paineputkiin. Polttoainepippujen sijoittamisella paineputkiin on välttytty paineputkia valmistusteknisesti vaativamman suuren reaktoripaineastian tarpeelta. Paineputket mahdollistavat lisäksi ns. jatkuvan polttoainelatauksen, joka luonnonuraanipolttainetta käytettäessä on lähes välttämätöntä sillä polttoaineen alhaisen U-235 -pitoisuuden vuoksi myös palama jää pieneksi.

Polttoainepippujen paineputket ovat vaaka-suunnassa matalapaineisessa, raskasta vettä sisältävässä moderaattori-säiliössä, josta käytetään nimitystä *calandria*. Kunkin paineputken ympärillä on eristeputki (*calandria tube*) ja näiden välissä on eristeenä hiilidioksidi-kaasua.

Lämpöeristyksen ansiosta moderaattori-säiliön raskaan veden lämpötila saadaan pidettyä primääripiiriin jäähdytettäväksi alhaisempaan ja vältetään moderaattorin kiehuminen. Alhainen lämpötila parantaa entisestään raskaalla vedellä tehtävän moderoinnin neutronitaloutta, jonka ansiosta CANDU-reaktori voi käyttää polttoaineen tehokkaasti hyväkseen, mikä puolestaan vähentää raaka-ainan

tarvetta.

Polttoaineen käytön kannalta CANDU-reaktorin suurimpia taloudellisia etuja ovatkin juuri edellä mainittu ominaisuus sekä mahdollisuus käyttää U-235:n suhteen väkevimätöntä luonnon uraania. Toisaalta vastapainona on alhaisesta palamasta aiheutuva kevytvesireaktoreita merkittävästi suurempi käytetyn polttoaineen määrä generoitua energiayksikköä kohden. Taloudellisessa tarkastelussa eräänä tärkeänä tekijänä vaikuttaa myös raskaan veden tuotannon kalleus.

Brucen laitokset on toteutettu CANDU:ille tyypilliseen tapaan siten, että laitoksen reaktoreilla on yhteinen turbiinihalli sekä tyhjiörakennus (*vacuum building*). Kullakin laitoksen neljästä reaktorista on oma turbiininsa, joka koostuu yhdestä korkeapaine- ja kolmesta matalapainevaiheesta.

Laitoksen neljän turbiinin yhteiselle hallille kertyy leveyttä vaikuttavat 400 metriä. Myös laitoksen reaktoriyksiköiden valvomot on keskitetty yhteen tilaan siten, että eri yksiköiden valvomot on sijoitettu huoneessa omiin osiinsa. Valvomon esittelyn yhteydessä kerrottiin, että

CANDU-laitosten tehoa on mahdollista jossain määrin säätää kulutuksen mukaan.

Ryhmämme piti laitokselle tehty kiertokäyntiä kaiken kaikkiaan hyvin kiinnostavana. Vierailun yhteydessä mieleen jääneenä ja hieman hämmästyttävänä herättäneenä erikoisena yksityiskohta tuli esille sellainenkin seikka, että yhtiön vanhoilla työntekijöillä on voimassa mahdollisuus jäädä eläkkeelle jo 57 vuoden ikäisenä.



DI Ari Miettinen  
Reaktoriturvallisuus-insinööri  
TVO Oyj  
ari.miettinen@tvo.fi

*Kanadan ydinenergiateollisuuden alkulähteillä 7.10.2013*

# AECL Nuclear Laboratories, Chalk River

AECL Chalk Riverissä on kuuluisa tutkimuslaitos, joka tunnetaan Kanadan ydinteollisuuden syntypaikkana.



Sateinen aamu Petawawassa vietetyn yön jälkeen johdatti meidät kohti seuraavaa vierailukohdetta, joka oli AECL Nuclear Laboratories Chalk Riverissä. Yli 40 km<sup>2</sup>:n kokoiselle alueelle levittäytynyt laitosalue työllistää noin 2800 työntekijää.

Lienee kuitenkin paikallaan kertoa muutama sana sen syrjäisestä sijainnista kartalla: Chalk River sijaitsee Ottawa-joen varrella Ontarion ja Québecin rajalla noin 400 kilometriä Torontosta koilliseen sekä 200 kilometriä Ottawasta luoteeseen.

Passin- ja bussitarkastuksen jälkeen pääsimme ajamaan sisään portista kohti päärakennusta, jossa meidät otti vastaan

isäntämme, henkilöstöviestinnän päällikkö **Philip Kompass**.

Kokoushuoneeseen päästyämme R&D Operations -osaston pääjohtaja **Rick Didsbury** kertoi AECL:n historiasta ja nykypäivästä Chalk Riverissä. Mr. Didsbury esitti puheessaan sekä Ontarion että Chalk Riverin merkkipaaluista ydinenergian saralla. Tärkeimpinä seikkoina hän mainitsi ensimmäisen syöpähoidon Kanadassa vuonna 1951 sekä fyysikko Bertram Brockhousen Nobelin fysiikanpalkinnon neutronisironnan selettämisestä vuonna 1994.

Mr. Didsbury kertoi myös Manhattan-projektista, jossa Chalk River osallistui atomipommin kehittämiseen toi-

sen maailmansodan aikana. Laitoksen toiminnan aikana tapahtumiin liittyi ilmeisen monta historiallista tapahtumaa, muun muassa työntekijän uiminen kooreaktorissa korjausoperaation aikana, lienee ainutkertainen tapaus laatuaan.

Tämän päivän asioista tärkeimmäksi nousi AECL:n organisoituminen kahdeksi eri yritykseksi vuonna 2011, toinen vastaa kaupallisesta reaktorien kunnossapito ja rakentamistoiminnasta ja toinen tutkimustoiminnasta.

AECL tehtävänä on palvella paitsi ydinvoimalaitoksia erilaisissa kehitys ja tutkimustehtävissä myös kehittää omaa osaamista CANDU-reaktorien osalta että palvella laajemmin muita ydinvo-



Chalk Riverin tutkimuslaitoksen alueella työskentelee 2800 työntekijää. Kuva: Juhani Palmu.

malaitoksia Kanadassa ja rajojen ulkopuolella T&K asioissa.

Tämä laajempi toiminta-alue on tullut mahdolliseksi yrityksen jakamisen jälkeen. Asiakkaita myös Kanadassa riittää, sillä maassa on 17 voimalaitosyksikköä, joista 4 tällä hetkellä pysäytettyinä. Suurin toimija on Ontario Power Generation (OPG) ja toiseksi suurin Bruce Power Ontarion ulkopuolella on Point Lepreau-laitos New Brunswickissa. Voimalaitokset tuottavat yli 15 prosenttia Kanadan sähköstä.

AECL:ssä tehtyä kehitystyötä ja historiaa kuvaa erilaisten koereaktorien määrä Chalk Riverin alueella, viiden reaktorin lisäksi on neljä muuta reaktoria poistettu käytöstä tai ottamatta lainkaan käyttöön:

- NRU – 135 MW tutkimusreaktori, jota on käytetty myös isotooppilääkeaineiden tuotantoon
- NRX reaktori – (1947–1992) aikansa tehokkaimpiin kuuluva koereaktori
- PTR – allaskoereaktori (suljettiin vuonna 1990)
- ZED-2 – nolla-energia reaktori
- ZEEP – ensimmäinen koereaktori Kanadassa ja ylipäätään Yhdysvaltain ulkopuolella

Mr. Didsburyn esityksen jälkeen suunnistimme R&D Operations -osaston johtajan **Brock Sandersonin** ja Mr. Kompassin johdolla kohti tiukkoja turvatarkastuksia, jotka koskivat kaikkia laboratoriotuotoimintoja.

## Polttoaineen kehitysosasto

Polttoaineen kehitysosastolla tutkija **Steve Livingstone** kertoi lyhyesti uusien polttoainekonseptien testauksesta. Eri-laisia polttoainemateriaaleja, toriumia, uraania ja plutoniumia asetetaan polttoainepuun ja viedään laboratorio-

alueen NRU- tai nollaenergian ZED-2-reaktoriin testattavaksi yhdeksäksi kuukaudeksi.

Tällä tavoin pyritään simuloimaan CANDU-reaktoria ja valmistamaan uuden tyyppisiä polttoaineita. Kehitystyöllä halutaan lisätä energiatehokkuutta sekä parantaa laitosten käyttöturvallisuutta ja luotettavuutta. Harmillisesti kontaminaatiota mittaava käsi-kenkä-monitori tällä alueella oli epäkunnossa eikä Mr. Livingstone voinut tämän takia päästää vieraitaan oviaukkoa pidemmälle esitelläkseen laboratorionsa laitteita.

AECL:n laboratorioalueella on käytössä kaksi toiminnassa olevaa reaktoria, joista toista, NRU:ta, pääsimme myös ihailemaan. NRU on HWR-tyyppinen CANDU-reaktori, joka tuottaa lämpötehoa hieman yli 100 MW.

Puettuamme päällemme suojakengät, -lasit, kypärät ja takit Canadian Neutron Beam -keskuksen johtaja **John Root** kertoi reaktorin erilaisista käyttötarkoituksista, joista jokaista voidaan käyttää samanaikaisesti. Ensiksikin NRU toimii tutkimusreaktorina, jossa pystytään säteilyttämään materiaaleja, tuottamaan isotooppeja lääketieteelle ja tekemään syöpähoitoja.

Toiseksi reaktorilla tehdään ydinteknologian tutkimuksia simuloimalla ydinreaktoria, minkä lisäksi reaktori toimii kuudella neutronispektrometrillään myös neutronisäteiden tutkimuspaikkana. Mr. Root sanoi reaktorin palvelevan vierailevia tutkijoita yliopistoista ja laitoksilta, jotka etsivät hyvin erilaisia ratkaisuja tutkimusongelmiinsa.

## Materiaalitestaustalaboratoriot

Chalk Riverin laboratorioalueella on kolme erillistä materiaalitestauksen la-

boratoriota. Vierailimme niistä yhdessä, **Robert Stothersin** johtamassa polttoaine- ja materiaalitestaustalaboratoriossa. Laboratorion hot cell -tila koostuu kahdestatoista suurikokoisesta, massiivisilla manipulaattoreilla varustetusta kuumakammioista. Nämä alfa-suojatut kammiot ovat tarkoitettu korkearadioaktiivisten näytteiden käsittelyyn. Tässä laboratoriossa keskitytään säteilytyksen jälkeisissä tutkimuksissa enimmäkseen käytettyjen polttoaine- ja suoja-uorinäytteiden valmistukseen ja testaukseen sekä tulosten analysointiin.

Tutkimus-hot cell -tilojen vieressä oli toinen kuumakammio, jonka tarkoituksena oli palvella muiden kuin standardimittaisten näytteiden tutkimusta. Tilassa oli kaksi suurta kammioita, joita kiersi nosturikiskot kappaleiden ja tutkimuslaitteiden liikuttelusta varten.

Nämä suuret kammiot oli sijoitettu ”selät vastakkain” niin että kammioiden väliin jäi huoltotila ja esimerkiksi koelaitteiden välivarastotila, kammiot avautuivat isoilla liukuovilla huoltotilaan. Varsinainen näytteiden tuominen onnistui myös kammion sivussa olevasta ovesta: kammioon mahtui kokonainen CANDU-reaktorin paineputkielementti tai muu suurikokoinen komponentti. Käytökelpoista monitoimitilaa esitteli meille innokkaana Materials & Mechanics -osaston johtaja **Andrew Celovsky** kollegoineen.

Chemical and Corrosion Autoclave and Loop Test -laitoksen materiaaliteknikko **Marvin Dupuis** ja kemianteknikko **Henry Searle** esittelivät autoklaavilaitteistojaan, joilla tehdään ei-aktiivista virumistestausta pääasiassa höyrygeneraattorinäytteille.

Tyypillisesti kuuden päivän mittaisilla kokeilla simuloidaan höyrytintolosuh-



AECL laboratoriolaitteita: Termohydrauliikka, kuumakammio toiminta, pintatutkimus ja aktinidilaboratorio..

teita ja tutkimustuloksilla optimoidaan materiaalien kemiallista koostumusta paremmin korroosiota kestäviksi, jolla saavutetaan komponenttien pidempi käyttöikä. Kokeilla, jossa korroosionäytteitä tutkitaan korkeissa lämpötiloissa, simuloidaan generaattorin sammuttamisen aiheuttamaa lämpökuormaa ja materiaalien kestävyyttä näissä olosuhteissa.

Mr. Kompass järjesti jo muutenkin kattavaan ohjelmaan yllätyskäynnin vuonna 1947 käyttöön otetulle NRX-reaktorille. Tämä aikanaan maailman tehokkaimpana tutkimusreaktorina toiminut LWR-tyyppinen CANDU-reaktori muistetaan parhaiten vuoden 1952 onnettomuudesta. Tuolloin reaktorin ydin pääsi osittain sulamaan ja rakennuksen alin kerros täyttyi radioaktiivisesta vedestä. Onnettomuuden jälkeen alimpaan kerrokseen valettiin betonia aktiivisuustason pienentämiseksi sekä reaktorin ydin ja paineastia korvattiin uusilla. NRX suljettiin lopulta vuonna 1992.

Kompassin mukaan reaktorin purkutyöt tulevat olemaan vaikeat onnettomuudesta aiheutuneen aktiivisuustason takia, eikä niitä ole vielä aloitettu. 1952 pelastustöissä oli ollut mukana muuan **Jimmy Carter**, joka tuolloin palveli U.S. Naval officerinä, muistona tästä oli pieni valokuva reaktorirakennuksen seinällä.

## Laserhitsauslaboratorio

Viimeisenä vierailukohteena kävimme polttoaine ja polttoainekanavan turvallisuus -osaston johtajan **Thambiayah Nitheanandin** laserhitsauslaboratoriossa. Pienikokoisella laboratoriolle riittää Mr. Nitheanandin mukaan asiakastöitä ympäri Kanadaa ja mies esitteli innoissaan laserhitsauslaitteitaan.

Laboratorion kahdella matalan energian pulssi- ja pistehitsauslaitteella tehdään niin materiaalien hitsausta kuin polttoleikkaustakin sekä gammaspektrometrista skannausta matala-aktiivisille näytteille. Materiaalin suorituskyvyn kannalta matalalla hitsausenergialla on merkitystä, koska sen myötä hitsausliitoksen muutosvyöhyke on kapea ja perusaineen mikrorakennemuutokset pysyvät vähäisinä. Gammaspektrometrian avulla tutkitaan lisäksi kuinka neutronisäteily on jakautunut dosimetrilankoihin säteilytyksen aikana.

Pitkän ja monipuolisen vierailun päätteeksi edessämme oli parin tunnin bussimatka Kanadan pääkaupunkiin Ottawaan, jossa seuraava majapaikkamme sijaitsi. Ennen yöpymistä pyörähdimme vielä Québecin provinssin puolella illallistamassa mainion bussikuskimme suosittelemassa ravintolassa.



Ins. (AMK), Tekn. yo Jari Lydman  
Tutkimusinsinööri  
Teknologian tutkimuskeskus VTT  
jari.lydman@vtt.fi



TkT Liisa Heikinheimo  
T&K-päällikkö  
TVO Oyj  
liisa.heikinheimo@tvo.fi





Ottawa 8.10.2013

# Canadian Nuclear Safety Commission CNSC

Kanadan ydinturvallisuusviranomaisen (Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC) toimintaan perehtymiseen oli varattu kokonainen päivä.

Tässä vaiheessa jo lähes tuhannen bussissa kohteelta toiselle kuljetun kilometrin jälkeen tämä päivä alkoi poikkeuksellisesti vajaan kilometrin aamukävelyllä hotellilta CNSC:n Otawan keskustassa sijaitsevaan kadehdittavan juhlaan pääkonttoriin.

Suomella ja sen atomiteknisellä seuralla on viranomaisenkin piirissä selvästi hyvä maine - siksi perusteellisesti isäntämme olivat täälläkin valmistelleet esityksensä viranomaistoiminnan osa-alueista, lisensointiprosessista, Fukushimaa opeista, valmistautumisesta ydinjätteen loppusijoitukseen ja uraanikaivosten viranomaissääteilyyn. Matkalaisten taholta esitettiin katsaukset ATS:stä, ydinalan näkymistä Suomessa ja Fukushimaa aiheuttamista toimenpiteistä Loviisan voimalaitoksella.

CNSC perustettiin vuonna 2000 jat-

kamaan ydinenergia-alan aamunkoitosta (vuodesta 1946) viranomaistehtäviä hoitaneen AEBC:n (Atomic Energy Control Board) roolia ydinenergian käytön turvallisuusviranomaisena. Nykyisellään CNSC:ssä on 140 miljoonan vuosibudjetilla yli 800 työntekijää ja pääkonttorin ohella pienempiä toimipisteitä yhteensä 10 kymmenessä paikassa ympäri jättivaltion.

Myös valvottavia riittää: maan viidellä laitospaikalla on yhteensä 22 ydinvoimalaitosyksikköä ja muita ydinenergiain (Nuclear Safety and Control Act) alla toimivia luvanhaltijoita 2500 erillisten lupien määrän ollessa 3300.

Paitsi lukumääräisesti myös toiminnan laajuuden osalta Kanada on ydinenergia-alan suurvaltoja. Se on kehittänyt oman laitostyyppin (CANDU) ja tuottaa merkittävän osan kaikkialla ydinvoimalaitok-

sissa käytettävästä uraanista.

## CNSC:n asema ja ydinlaitosten lisensointi

CNSC on itsenäinen Kanadan parlamentille raportoiva viranomainen, jonka tehtävänä on säädellä ydinenergian ja -materiaalien käyttöä sekä toteuttaa Kanadan kansainvälisiä ydinalan sopimuksia. CNSC luvittaa ja valvoo kaikkea ydinenergian käyttöön liittyvää toimintaa alkaen uraanikaivoksista ja päättyen ydinlaitosten käytöstäpoistoon ja jätteen loppusijoitukseen. Ylimpänä päätöksentekijänä toimii CNSC:n 7-henkinen komitea.

Kanadalaisen luvitusprosessin silmiinpistävä ero suomalaisen verrattuna on kansalaiskuulemisten korostunut merkitys. Suomalaisten pääasiallisesti



kirjallisten kuulemisten sijaan Kanadassa pidetään päiviä tai viikkoja kestäviä kuulemistilaisuuksia, joihin asiasta kiinnostuneet voivat tulla keskustelemaan. Esimerkiksi Ontario Power Generationin matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitushankkeen kuuleminen oli kesken ATS:n vierailun aikana, ja kesti kaikkiaan noin kuukauden.

Kanadalainen ydinlaitoksen lupaprosessi on pääpiirteissään vastaava kuin Suomessa, mutta sillä erolla että luvituksen kaikki vaiheet tapahtuvat CNSC:ssä. Lupaa pitää hakea laitospaikan esivalmisteluille, rakentamiselle, käytölle, käytöstäpoistolle ja hylkäämiselle kuten Suomessaakin.

Lupaprosessi alkaa lupahakemuksesta ja sen yhteydessä tai sen jälkeen tehdystä ympäristövaikutusten arvioinnista. Julkiset kuulemiset on hoidettava ennen luvan myöntämistä.

Luvituksen jälkeen ydinlaitoksia valvotaan määräaikaistarkastuksin. Ydinlaitoksia arvioidaan 14 osa-alueen pohjalta luokkiin täysin tyydyttävä, tyydyttävä, odotusten alapuolella, ei hyväksyttävä. Arvioitavia osa-alueita ovat mm. johtamisjärjestelmät, turvallisuusarviot, ympäristönsuojelu, jätehuolto ynnä muut.

## Fukushiman onnettomuuden aiheuttamat muutokset

Fukushiman oppeja koskevan esityksensä johdannoksi ydinvoimalaitosten valvontaosaston johtaja Dr. **Greg Rzentkowski** palautti mieleen, että Chalk Riverissä Ontariossa tapahtui vuonna 1952 maailman ensimmäinen vakava reaktorionnettomuus, kun CANDU-tyyppisen NRX-reaktorin sydän sulii ihmisten virheiden ja sammutusjärjestelmän mekaanisten ongelmien seurauksena aiheuttaen vetyräjähdysten ja 400 TBq:n päästön ympäristöön.

Onnettomuuden seurauksena CANDU-reaktorin suunnitteluperusteita ja analyysijä on laajennettu perinteisten DBA-tarkastelujen ulkopuolelle. Esimerkkejä CANDU-reaktoreiden positiivisista turvallisuusominaisuuksista ovat suuri jäähdyttilävyys, joka mahdollistaa usean tunnin passiivisen jälkilämmön poiston, sekä kehittyneet ja varmennetut turvajärjestelmät. Polttoaineen varastolta ovat seismisesti kelpoistettuja varustettuna lisäveden syöttömahdollisuudella.

Edellä esitetyn ohella Fukushiman opit on selvitetty ja niiden pohjalta on

laadittu kolmetoistakohtainen toimintasuunnitelma. Paneutumisen perinpohjaisuutta kuvaa ydinalan ulkopuolelta kootun asiantuntijapaneelin sisällyttämisen selvitysprosessiin.

Tunnistetut kehitystoimet kohdistuvat syvyysuuntaisen puolustuksen tehostamiseen, valmiustoiminnan parantamiseen, viranomaisprosessien kehittämiseen ja kansainvälisen yhteistyön lisäämiseen.

Käytännön toimenpiteitä ovat myös Suomessa ideoidut siirrettävät aggregaatit ja paloautokalusto sekä tulvasuojauksen parantaminen. Hallinnollisia toimenpiteitä ovat mm. vakavien onnettomuuksien sisällyttäminen valmiustoiminnan ohjeistukseen ja harjoitteluun, sekä väestölle suunnatun koulutuksen ja kriisiviestinnän kehittäminen.

Selvitettävänä olevia teknisiä parannuksia ovat mm. moderaattorijärjestelmän modifiointi, lisäveden syötön mahdollistaminen pääkiertoputkistoon asennettavien yhteiden kautta ja suojarakennuksen kestävyuden varmistaminen suodatetun paineenalennuksen avulla. Myös tarvetta laitoksen ulkopuolelle sijoitettavan valmiuskeskuksen rakentamiseksi selvitetään.



## Ydinvoiman tulevaisuuden näkökulmia

Lisensiointidivisioonan johtaja **Doug Miller** piti katsauksen ydinalan nykytilanteesta ja kehitysnäkymistä Kanadassa. Ydinvoimalla on keskeinen merkitys maan energiantuotannossa - tuotetaan sillä yli puolet maan sähköstä. Sähkön saannin varmistamiseksi myös tulevaisuudessa jatketaan nykyisten laitosten käyttöä mutta myös valmistaudutaan rakentamaan lisää ydinvoimaa.

Pisimmälle konkretisoitunut uusi hanke on Ontario Power Generationin (OPG) operoiman Darlingtonin neljästä laitosyksiköstä koostuvan ydinvoimalaitoksen laajentaminen. OPG sai elokuussa 2012 luvan käynnistää laitosalueella tarvittavat valmistelut (License To Prepare Siting, LTPS).

Lupa pitää sisällään neljän kokonaisuutensa enintään 4800 MWe laitostyösköön rakentamisen. Luvan nojalla saa



laitospaikalla tehdä vain sellaisia valmistelutöitä, jotka ovat laitostoimittajasta ja -tyypistä riippumattomia.

Hakemuksen käsittelee CNSC:ssä kesti kuulemiseen kolme vuotta. Potentiaaliset laitostoimittajat Westinghouse AP-1000 ja CANDU EC6 (720 MWe kukin) toimittivat kesäkuussa 2013 OPG:lle rakentamislupahakemuksen laatimisessa tarvittavan teknisen dokumentaation.

Uusien laitosyyppien rakentamislupavaiheeseen liittyy eräänlainen tyyppihyväksyntä. Tämä Vendor Design Review (VDR) prosessi muistuttaa USNRC:n Design Certificationia tai UK ONR:n Generic Design Assessmentia, ja koostuu yhteensä 19:stä turvallisuusperiaatteisiin, turvallisuusjärjestelmiin ja rajapintakäsymyksiin liittyvistä selvityksistä. Kummankin laitostyypin rakentamislupavaiheeseen liittyy eräänlainen tyyppihyväksyntä. Tämä Vendor Design Review (VDR) prosessi muistuttaa USNRC:n Design Certificationia tai UK ONR:n Generic Design Assessmentia, ja koostuu yhteensä 19:stä turvallisuusperiaatteisiin, turvallisuusjärjestelmiin ja rajapintakäsymyksiin liittyvistä selvityksistä. Kummankin laitostyypin rakentamislupavaiheeseen liittyy eräänlainen tyyppihyväksyntä.

Ydinvoiman tulevaisuus nähdään teholtaan 200-300 MWe:n ns. semi-modulaarisissa reaktoreissa, SMR. Tällaiset laitokset voisivat korvata vaihteittain kivihiihien polton. Ydinvoiman rinnalla tarvitaan kuitenkin jatkossakin vesi- ja kaasuvoimalaitoksia ja uusiutuvien energialähteiden käyttämistä.

Ydinvoimalaitosten sijoituspaikat ja mitoitus on infrastruktuurin rakentamiseen liittyvien kustannusten kurissa pitämiseksi sovitettava olemassa olevaan sähköverkkoon. Tästä huolimatta myös verkon kunnostamista tarvitaan, ja esimerkiksi Kanadan pohjoisosista sähkön siirtoon kelvollinen verkko puuttuu. Lisärakentamisella Kanadasta voisi tulla sähkön viejä erityisesti USA:n pohjoisosiin.

## Ydinjätteiden loppusijoitus Kanadassa

Kanadalaiset jakavat radioaktiiviset jätteet neljään luokkaan (korkea-aktiivinen, keskiaktiivinen, matala-aktiivinen ja kivi- ja metallijäte). Matala-aktiivinen jäte jaetaan vielä alaluokkiin puoliintumisaikojen ja aktiivisuustasojen mukaan.

Kanadassa on tällä hetkellä käynnissä kaksi loppusijoituslaitosprojektia: Ontario Power Generationin (OPG) matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoituslaitoshanke Deep Geologic Repository



(DGR) ja Nuclear Waste Management Organizationin (NWMO) käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitushanke.

OPG:n hanke on edennyt paikanvalinnan jälkeen julkiseen kuulemiseen, joka oli käynnissä ATS:n vierailun aikaan. Loppusijoituslaitos tullaan rakentamaan Bruce'n voimalaitoksen alueelle noin 680 metrin syvyyteen. Loppusijoitustilat tulevat sijaitsemaan tiiviissä sedimentaarissa kivessä, jonka päällä on laaja yhtenäinen savimuodostuma. Vertailun vuoksi, suomalaiset L/ILW-loppusijoituslaitokset sijaitsevat noin 100 metrin syvyydessä kiteisessä kalliiossa.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitushankkeen paikanvalinta alkoi vuonna 2010. Tähän mennessä 21 paikkakuntaa on ilmaissut alustavan kiinnostuksensa hankkeesta. Näistä 3 on Saskatchewanissa ja 18 Ontariossa. Hanketta viedään eteenpäin suoraan loppusijoitukseen tähtäävällä konseptilla, jossa rakennetaan loppusijoitustilat noin 500 metrin syvyyteen.

NWMO harkitsee sekä KBS-3:n kaltaisten suurten loppusijoituskapselien että yksittäiselle CANDU-nipulle suunniteltuja kapselleita. Hankkeen aikataulu on avoin. Sekä viranomainen että NWMO pyrkivät etenemään rauhalliseen tahtiin, jottei nykyinen hanke kariutuisi kuten aiempi vastaava hanke.

### Uraanikaivostoiminta ja ydinpolttoaineen valmistus

Kanada on maailman toiseksi suurin  $U_3O_8$ :n tuottaja. Kaikki tämän hetken kaivokset sijaitsevat Saskatchewanissa. Kaivoksista suurin on McArthur Riverin kaivos, joka on maailman suurin uraani-kaivos, jonka vuotuinen tuotanto on noin 9000 tonnia.

Uraania on louhittu sekä avolouhokista että maanalaisista kaivoksista. Kaikki nykyiset kaivokset ovat maanalaisia. Kaivosten uraani muutetaan  $UO_3$ :ksi Camecon Blind Riverin laitoksella ja lähetetään Port Hopeen jatkojalostettavaksi.

CANDUihin tarvittava polttoaine valmistetaan Kanadassa, mutta kevytvesireaktoreita varten uraani konvertoidaan  $UF_6$ :ksi ja lähetetään ulkomaille jatkojalostukseen. CNSC vastaa kaikesta näihin toimintoihin liittyvistä luvituksista.

FM Vesa Ruuska  
Turvallisuuspäällikkö  
Posiva Oy  
vesa.ruuska@posiva.fi



FM Jarkko Kyllönen  
Ylitarkastaja  
ydinjätteen loppusijoitus  
STUK  
jarkko.kyllonen@stuk.fi



## Kanadan ydintekninen seura

# Canadian Nuclear Society

Seppo Vuori



Seuralla ([www.cns-snc.ca](http://www.cns-snc.ca)) on hyvin samankaltaiset tavoitteet kuin ATS:llä eli se edistää tiedonvaihtoa liittyen laajasti ydinenergiaa koskevaan tieteeseen ja teknologiaan. Toiminta kattaa täten sähköntuotannon ydinvoimalla, polttoaineen tuotannon, uraanin louhinnan ja jalostuksen sekä radioaktiivisten jätteiden ja käytetyn ydinpolttoaineen huollon.

Muita toimintaan liittyviä aihepiirejä ovat radionuklidien lääketieteellinen ja teollinen käyttö, työntekijöitä ja ympäristöä koskeva säteilysuojelu, ydinfuusioon

liittyvä tiede ja teknologia sekä yleisesti eri aihepiireihin liittyvä tutkimus- ja kehittämistoiminta.

Seuran jäseniin (1200) kuuluvat henkilöt, joiden työtehtävät liittyvät suoraan edellä mainittuihin alueisiin tai jotka ovat yleisesti kiinnostuneita ydinenergiaan liittyvistä aihepiireistä. CNS on perustettu vuonna 1979 teknisenä seura-na liittyen yhteisöön Canadian Nuclear Association (CNA). Vuodesta 1998 lähtien CNS on toiminut itsenäisenä voittoma tuottamattomana liittovaltion yhteisönä.

- CNS:n tavoitteet ovat:

- toimia ydinenergia-alan tieteen ja teknologian tiedonvaihtoforumina,
- edistää toiminta-aihepiiriinsä liittyen ydinenergia-alan tieteen ja teknologian kehittämistä ja hyötykäyttöä rauhanomaisiin tarkoituksiin,
- edistää aihepiirin koulutusta ja siihen liittyvää yleistä tietämystä sekä
- edistää aihepiirissä toimivien henkilöiden ammatillisia ja teknisiä edellytyksiä toimia ydinenergia-alan tieteeseen ja teknologiaan liittyvissä tehtävissä Kanadassa.

Tkt Seppo Vuori  
ATS Seniorit  
[seppo.vuori@welho.com](mailto:seppo.vuori@welho.com)



Keskiviikko 9.10.2013

# Matala-aktiivisen jätteen maaperäsijoitusprojekti Port Hopessa

Keskiviikkoaamuna 9.10.2013 vierailukohteemme oli Port Hope Area Initiative -projekti (PHAI) Port Hopen kaupungissa. Meitä oli projektitoimistolla vastassa toimiston päällikkö Craig Hebert, projektin johtaja Walten Van Veen, turvallisuuspäällikkö Glenn Case, viestintäpäällikkö Judy Herod, viestintäkoordinaattori Sandy Holmes ja pormestari Linda Thompson.

Vierailun alussa pidetyssä lyhyessä esittelyssä toimiston päällikkö C. Hebert esitteli projektitoimiston ja sen tehtäviä, pormestari Linda Thompson toi Port Hopen kaupungin terveiset. Esittelyjen jälkeen vuorossa oli projektin esittely. Esityksen piti turvallisuuspäällikkö C. Case.

Projektin esittelyn jälkeen lähdimme kiertoajelulle, jonka aikana saimme katsovan kuvan puhdistettavista kohteista Port Hopen alueella. Vierailu päättyi pormestarin kaupungintalolla järjestämään lounastilaisuuteen. Lounaalla oli mukana laaja joukko kaupungin virkamiehiä, projektin edustajia ja iltapäivän isäntämme Camecosta.

## Port Hopen kaupunki

Port Hope sijaitsee Ontarion eteläosassa reilun 100 km:n etäisyydellä Torontosta

itään ja 160 km:n etäisyydellä Kingstonista länteen. Kaupunki sijaitsee Ganaraska joen suulla Ontario järven pohjoisrannalla.

Viimeinen suuri muutos tapahtui vuonna 2001, kun alkuperäinen Port Hopen kaupunki (perustettu vuonna 1834) yhdistyi Hopen kaupungin (perustettu 1792) kanssa. Nykyisin kaupungissa on asukkaita reilut 16 000.

## Matala-aktiivinen jäte Port Hopen alueella

Jäte on peräisin Eldorado Mining and Refining Limitedin sekä sen edeltäjien 1930-luvulla aloittamasta radiumin ja uraanin tuotannosta. Jäte sisältää radium-226:ta, uraania, arseenia sekä muita rikastuksen yhteydessä jäljelle jääneitä epäpuhtauksia.

Radiumia tuotettiin erottamalla sitä

uraanimalmista. Radiumia käytettiin mm. itsevalaisevissa maaleissa. Kun radium löydettiin, sitä markkinoitiin lähes ihmelääkkeenä. Varsinkin 1920-luvulla radioaktiivisuutta pidettiin keuholle hyödyllisenä, vaikka sen vaarallisuuskin jo tunnettiin.

Radiumia myytiin mitä erilaisimpina valmisteina, joiden pitoisuus oli niin suuri, että pitkäaikainen käyttö oli usein hengenvaarallista. Radiumin käyttökohteina olivat mm. mittaristo- ja kellotaut. Sitä käytettiin myös syövän hoitoon.

Käyttö lopetettiin, kun radiumin vaarallisuus huomattiin. Nykyisin säteilysuojelulainsäädäntö rajoittaa ankarasti sen ja muidenkin radioaktiivisten aineiden käyttöä. Lääketieteellisessä sädehoidossakin radiumin ovat pitkälti syrjäyttäneet keinotekoiset radioaktiiviset aineet kuten Co-60 ja Cs-137. 1940-luvun alkupuolella tuotannon



Port Hope Town Hall. Kuvat: Juhani Palmu.



painopiste siirtyi uraaniin ja radiumin tuotanto loppuikin ennen 1950-luvun puoliväliä.

Port Hopessa rikastettiin mm. Manhattan-projektissa tarvittu uraani. Uraanin tuotanto jatkui aina vuoteen 1966 asti. Nykyisin Cameco käyttää raaka-aineenaan uraanitrioksidia ( $UO_3$ ) valmistessaan uraanidioksidia ja uraaniheksafluoridia.

## Port Hopen puhdistusprojekti

Radiumin ja uraanin jalostuksen yhteydessä syntyneet sivutuotteet varastoitettiin Port Hopen alueelle useisiin eri kohteisiin. Myöhemmin, kun jätteiden vaarallisuus huomattiin, ryhdyttiin valmistelemaan alueen puhdistamista. Puhdistustyöt alkoivat laajemmassa mittakaavassa jo vuonna 1976, jolloin aloitettiin siirtämään yhteensä 100 000 m<sup>3</sup>:n määrää jätettä Chalk Riverin alueelle.

Tämä vaihe saatiin valmiiksi vuonna 1981 ja vuonna 1982 perustettiin Port Hopeen Low-Level Radioactive Waste Management Office (LLRWMO) vastaamaan alueella olevien jätteiden loppusijoituksesta.

Työ painottui aluksi jätteiden määrän ja kontaminoituneiden alueiden identifiointiin. Identifiointia vaikeutti Port Hopessa se, että aikoinaan puretun radiumin tuotantoon käytetyn tehtaan komponentteja käytettiin uudelleen rakennuksissa.

Toisena mielenkiintoisena seikkana mainittiin se, että toiminnan alkuvaiheessa radiumia myytiin pimeille markkinoille. Tämä johti siihen, että radioaktiivisia aineita käsiteltiin asuintaloissa. Näiden pistemäisten kohteiden identifiointi on projektin mukaan erittäin haastavaa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että suuri määrä rakennuksia ja kiinteistöjä joudutaan monitoroimaan.

Port Hope Area Initiative-projekti (PHAI)

## Port Hope Area Initiative-projekti (PHAI)

Vuonna 2001 aloitettiin The Port Hope Area Initiative -projekti (PHAI), kun valtion ja Port Hopen sekä Claringtonin kuntien välillä solmittiin sopimus alueiden puhdistamisesta ja jätteen loppusijoituksesta.

PHAI-projekti perustettiin toteuttamaan pitkäaikainen ja turvallinen ratkaisu Port Hopen alueella olevan matala-aktiivisen jätteen loppusijoitukseen. Projektin rahoituksesta vastaa Kanadan valtio.

Tämän hetkisen tiedon mukaan on matala-aktiivista jätettä kaiken kaikkiaan n. 2 milj. m<sup>3</sup>, josta Port Hopen kaupungin alueella sijaitsee n. 1,2 milj. m<sup>3</sup> ja Claringtonin alueella n. 0,5 milj. m<sup>3</sup>. Tämä vastaa yli 90 prosentista Kanadassa olevasta historiallisesta matala-aktiivisesta jätteestä, jonka loppusijoitus on jäänyt valtion vastuulle.

Turvallisuuspäällikkö C. Case kerroikin PHAI-projektin olevan Kanadan suurimman ympäristöhankkeen tällä hetkellä. Projekti on myös kustannuksiltaan mittava, Kanadan valtio myönsi tammikuussa 2012 yhteensä 1,28 miljardia CAD (n. 900 milj. €) seuraavan 10 vuoden ajalle käytettäväksi projektin toteutusvaiheeseen.

PHAI-projekti muodostuu kahdesta erillisestä osaprojektista - Port Hopen projektista ja Claringtonin projektista. Näistä Port Hopen projekti on haastavampi, koska jätettä on pitkin kaupunkia

useissa paikoissa. Erityisen haasteen tuo se, että jätettä on myös asuinalueilla.

Port Hopessa onkin suuri määrä kiinteistöjen omistajia, joiden kanssa on sovittava mittauksista ja puhdistamisesta aikatauluineen. Projektin edustajat kertoivatkin tämän olevan erittäin haastavaa, kun joudutaan tuhansien kiinteistönomistajien kanssa sopimaan asioista.

PHAI-projekti on jaettu kolmeen vaiheeseen:

- Suunnitteluvaihe sisältäen myös projektin ympäristövaikutusten arvioinnin ja viranomaishyväksynnän
- Toteutusvaihe sisältää loppusijoituspaikan rakentamisen, jätteen loppusijoituksen ja kontaminoituneiden alueiden puhdistamisen
- Jälkiseuranta- ja ylläpitovaihe, jossa tehdään ympäristön pitkäaikaista jatkuvaa monitorointia ja loppusijoituslaitoksen ylläpitoa

Suunnitteluvaihe kesti projektin käynnistämisestä vuoden 2008 elokuuhun asti. Tämän jälkeen päätettiin tehdä vielä lisää valmistelutyötä projektin toteutusvaihetta 2 varten. Tämä ylimääräinen vaihe kesti vuoteen 2011, jolloin siirryttiin projektin toteutusvaiheeseen. Ensimmäisen vaiheen toteutuksesta vuodesta 2001 vuoden 2008 loppuun vastasi Low-Level Radioactive Waste Management Office (LLRWMO) toimisto.

Vuonna 2009 perustettiin AECL:n ja rahoituksesta vastaavien ministeriöiden toimesta Port Hope Area Initiative Management Office (PHAIMO) vastaamaan projektin toteutuksesta ja jälkiseurantavaihe mukaan lukien. Loppusijoituspaikkojen rakennustyöt on aloitettu Claringtonissa ja Port Hopessa kuluvan vuoden aikana. Matala-aktiivisen jätteen loppusijoitus on tarkoitus aloittaa aika-



taulun mukaan vuonna 2015 ja sen arvioidaan kestävän 5–6 vuotta.

## Maanpäällinen loppusijoitusratkaisu

Loppusijoitusratkaisun suunnitteluperusteissa lähdetään siitä, että sen tulee kyetä eristämään jätteet riittävän pitkäksi aikaa luonnosta. Suunnittelussa noudatetaan ns. moniesteperiaatetta.

Loppusijoituspaikan pohja- ja päällysrakenteet sisältävät erilaisten savi- ja kiviaineskerrosten lisäksi muovikalvoista sekä geotekstiileistä tehdyt veden kulkeutumista estävät ja muita rakennekerroksia erottelevat osat.

Pohjarakenteeseen asennetaan vuodonkeruuputket kahteen eri kerrokseen. Putkiin kertynyt vesi johdetaan keskitetysti puhdistettavaksi ennen niiden johtamista luontoon. Käytetty rakenne vastaa periaatteiltaan nykyisiä kaatopaikarakenteita, mutta on suunnitteluperusteiltaan vieläkin vaativampi.

Jätteen loppusijoituksen jälkeen ei työ suinkaan lopu vaan alueilla on systemaattiset mittaus- ja seurantajärjestelmät. Alueen monitorointia on tarkoitus jatkaa huomattavan pitkän, jopa satojen vuosien ajan. Alueelta mitataan ja raportoidaan mm. säteilytasoja ja pohjaveden laatua säännöllisesti.

## Kiinteistöjen kartoitus on käynnissä ja loppusijoituspaikan rakentaminen on alkamassa

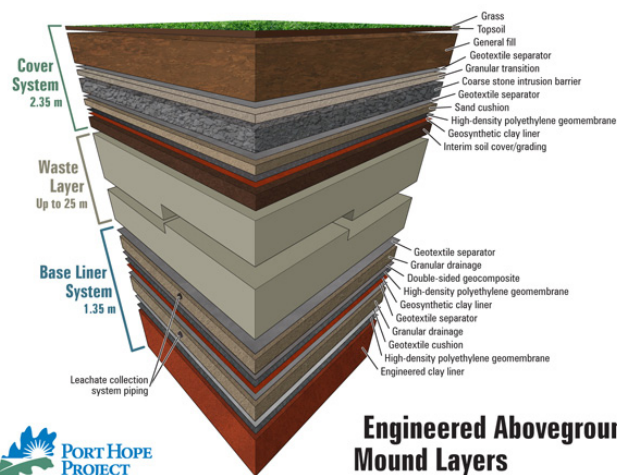
Varsinaisen loppusijoituspaikan rakentamisen lisäksi pitää rakentaa erilaisia tätä toimintaa tukevia ja palvelevia rakenteita sekä rakennuksia. Jätteen kuljetusta varten on rakennettu uusi tie, jolla kytetään minimoimaan kuljetukset asuntoalueella ja näin välttämään työstä aiheutuvaa häiriötä ja riskiä kontaminaation leviämiseksi.

Parhailaan rakenteilla on vedenpuhdistuslaitos, jonne johdetaan valumavedet loppusijoituspaikalta puhdistettavaksi ennen luontoon johtamista.

Parhailaan on käynnissä myös kiinteistöjen ja maa-alueiden mittaukset ja kartoitukset kaupungin eri puolilla. Tämän vuoden aikana arvioidaan työt saatavan valmiiksi ensimmäisten 450 kiinteistön osalta. Työ jatkuukin välittömästi ja kartoitus tehdään arviolta vielä yli 2000 kiinteistöllä.



Port Hopeen rakennettavan maanpäällisen matala-aktiivisen jätteen loppusijoituspaikan lay out-kuva. Lähde: PHAI-projekti.



Matala-aktiivisen jätteen maanpäällisen loppusijoitustilan rakenne. Lähde: PHAI-projekti.

Loppusijoituspaikan rakentamisessa seuraavina vaiheina ovat alueen valmistelutyöt ml. tarvittavien tukirakennusten rakentaminen. Tämän jälkeen aloitetaan varsinaisen loppusijoituspaikan rakentaminen.

## Yhteistyö paikallisten asukkaiden kanssa on tiivistä

Projektipäällikkö kertoi, että haastavassa projektissa on sidosryhmien suuri määrä. Maansiirto on helppoa, mutta kiinteistön omistajien kanssa toimiminen on lukumäärän takia haastavaa. Tästä syystä projektissa on panostettu merkittävästi yhteistyöhön paikallisen yhteisön kanssa.

Projektin edustajat kertoivat yhteistyön paikallisten asukkaiden kanssa olevan oleellinen osa projektia. Port Hopenessa järjestetään säännöllisesti asukastilaisuuksia ja toimitetaan uutislehteä. Lisäksi keväällä perustettiin yhteistyöryhmä, jossa on 12 vapaaehtoista jäsen-

taä yhteiskunnan eri alueilta. Tämän tiiviin yhteistyön saimme itse kokea kohteeseen tutustumisen jälkeen kaupungin pormestarin kaupungintalolla järjestämällään lounaalla, jossa paikalla oli useiden eri sidosryhmien edustajia.

Lopuksi kiitimme isäntiä vieraanvaraisuudesta ja siitä, että saimme tutustua PHAI-projektiin ja Port Hopen kaupunkiin. Lounaan jälkeen jatkoimme Port Hopen sataman välittömässä läheisyydessä sijaitseviin Camecon tehtaisiin.



DI Timo Palomäki  
Vanhempi asiantuntija  
TVO Oyj  
timo.palomaki@tvo.fi

# CAMECO, Port Hope

Keskiviikon 9.10. toisena vierailukohteena oli Camecon konversiolaitokset Port Hopessa.



Cameco syntyi vuonna 1988 kahden kansallisen kaivosyhtiön fuusion tuloksena. Camecon ydinliiketoimintaan kuuluvat uraanin etsintä, louhinta, konversio ja rikastus. Cameco on alallaan yksi maailman suurimmista toimitsijoista:

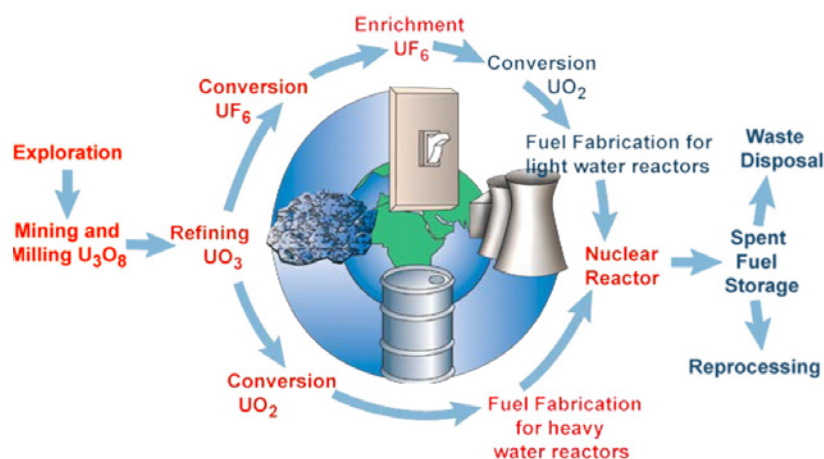
- kaivostoimintaa Kanadassa, USA:ssa

ja Kazakstanissa

- tuottaa yli 15 % maailman uraanitarpeesta
- konversiolaitokset ja polttoainetehdas Ontariossa Kanadassa
- yhteistyökumppani Iso-Britanniassa
- osamistajana Bruce Power -energiayhtiössä.

*Polttoainekierto. Cameco suorittaa punaisella merkityt työvaiheet itse.*

## Nuclear Fuel Cycle

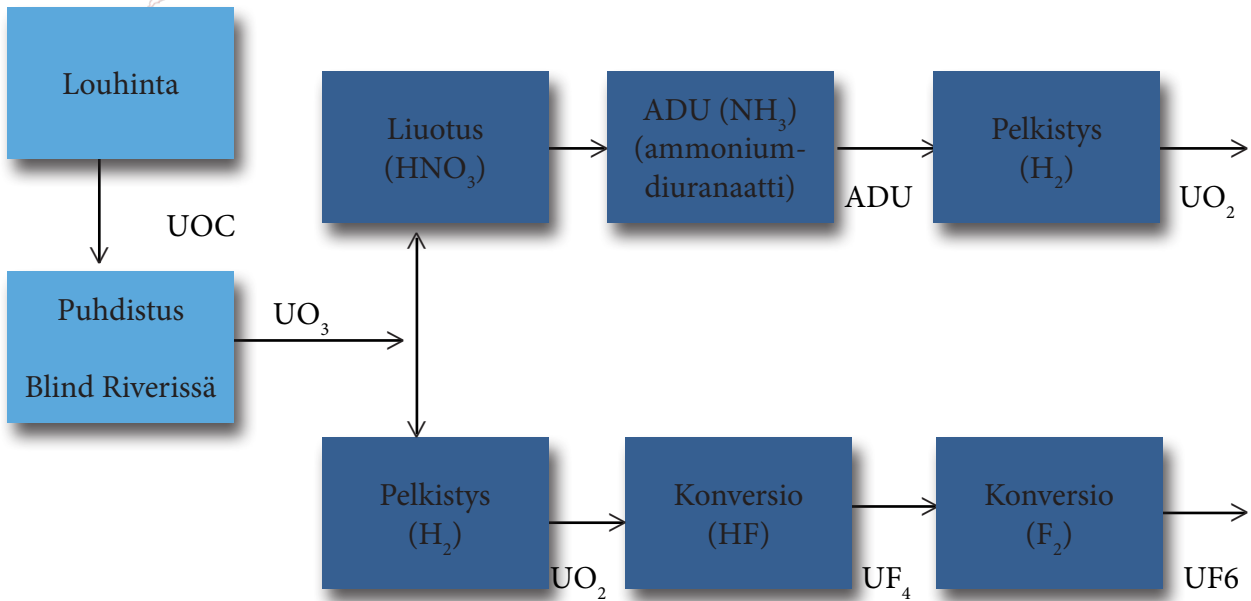


Camecon edeltäjä, Eldorado Gold Mine Ltd, aloitti toimintansa Port Hopessa vuonna 1932. Tuolloin laitos erotti radiumia teollisuuden tarpeisiin, ja vuodesta 1942 alkoi sivutuotteena saatavan uraanin erotus ja puhdistus mm. Manhattani-projektia varten.

Nykyisin Cameco tuottaa Port Hopessa uraanidioksidia ( $UO_2$ ) ja uraaniheksafluoridia ( $UF_6$ ), joista jälkimmäinen menee vientiin. Asiakkaat ostavat uraanin markkinoilta ja toimittavat sen Camecolle prosessoitavaksi. Port Hopon laitoksella toimilupa valmistaa 12 500 t  $UF_6$  ja 2 800 t  $UO_2$  vuodessa. Laitoksilla työskentelee yhteensä n. 350 henkilöä.

Cameco saa käyttämänsä uraanin kaivoksiltaan Kanadasta, USA:sta ja Kazakstanista. Uraanimalmi toimitetaan kaivoksilta terästynneissä Camecon puhdistuslaitokselle Kanadan Blind Riveriin. Siellä malmista erotetaan epäpuhtaudet, ja se muunnetaan uraanitrioksidiksi ( $UO_3$ ). Suurin osa  $UO_3$ :sta toimitetaan konversiolaitoksille Port Hopon ja Englantiin.

$UO_3$  jatkojalostetaan Port Hopessa  $UO_2$ :ksi ja  $UF_6$ :ksi.  $UO_2$ -tuotantolaitok-



Uraanin konversioprosessi.

sella valmistetaan väkevöimätöntä  $UO_2$ -pulveria, josta tehdään joko polttoainetta CANDU-reaktoreihin tai heijastuspolttoainetta kevytvesireaktoreihin. Laitos toimii ympärivuorokautisesti 3-5 vuorokauden sykleissä.

$UO_2$ -tuotantolaioksella  $UO_3$  liuotetaan ensin typpihappoon, minkä tuloksena syntyy uranylinitraattia. Uranylinitraatti erotetaan ammoniakkiuoksella, jolloin saadaan liete, joka koostuu ammoniumdiuranaattista (ADU) ja ammoniumnitraattista.

ADU erotetaan lietteestä sentrifugoilla. Erotuksen jälkeen ADU kuivataan jatkuvatoimisessa hyllykuivurissa ja pelkistetään vedyllä kiertouuneissa, jolloin tuloksena saadaan hienojakoista  $UO_2$ -pulveria.  $UO_2$ -pulveri pakataan tynnyreihin ja kuljetetaan Port Hopesta polttoainetehtaalle.  $UO_2$ -valmistuksen sivutuotteena syntyvä ammoniumnit-

raatti myydään edelleen lannoitteena.

$UF_6$ :n valmistus kattaa 80 prosenttia Port Hopen tuotannosta.  $UF_6$ -tuotantolaitos toimii ympäri vuorokauden, ja sitä käyttävät 12 hengen työvuororyhmät 12 vuorossa.

$UF_6$ :n valmistus on huomattavasti monimutkaisempi prosessi kuin väkevöimättömän  $UO_2$ :n valmistus.  $UF_6$ :n valmistusprosessin ensimmäisessä vaiheessa  $UO_3$  pulverisoidaan ja pelkistetään vedyllä  $UO_2$ :ksi.  $UO_2$ -pulveri syötetään reaktoriin, jossa se sekoituu fluorivetyhappoon ja muodostaa uraanitetrafluoridi ( $UF_4$ ) -lietettä.  $UF_4$ -liete kuivataan, minkä jälkeen  $UF_4$  johdetaan liekkireaktoreihin, joissa sen annetaan reagoida fluorikaasun kanssa. Liekkireaktoreissa syntynyt  $UF_6$ -kaasu erotetaan reagoimattomista ainesosista antamalla sen jäähmettyä vedellä ja glykolilla jäädytettynsä säiliöön. Säiliöitä on kaiken kaikkiaan kolme ja aina yhden säiliön tullessa täyteen aletaan täyttää toista. Täysi säiliö lämmitetään ja sulaa  $UF_6$  johdetaan kuljetusastioihin, joissa sen annetaan jäähtyä kiinteään olomuotoon. Jäähdytymisen jälkeen kuljetusastiat vietään Port Hopesta rikastuslaitokselle.

Suurimpana ympäristövaikutuksena Port Hopen laitoksilla on mahdolliset päästöt maaperään. Heinäkuussa 2007 Camecon työntekijät havaitsivat *keltaista nestettä*  $UF_6$ -laitoksen lattialla. Asiaa

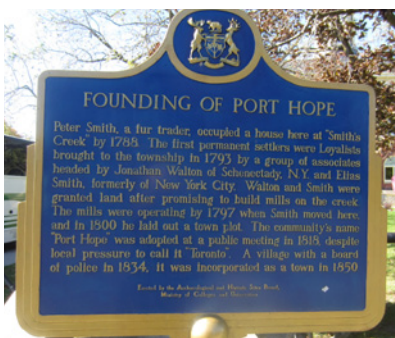
tutkittaessa paljastui, että uraania ja arseniikkia oli vuotanut laitokselta vuosia maaperään ja pohjaveteen. Cameco toteutti mittavat puhdistustyöt ja laitosparannukset, ja laitos avattiin uudelleen vasta vuoden kuluttua, syyskuussa 2008.



DI Kaisa Pellinen  
Suunnitteluinsinööri  
Ydinpolttoaine  
Fortum Power & Heat  
kaisa.pellinen@fortum.com



DI Päivi Rintala  
Polttoaineinsinööri  
Teollisuuden Voima Oyj  
paivi.rintala@tvo.fi





# Canmet Materials, Hamilton

Torstain 10.10. ensimmäisenä vierailukohteenamme oli Canmet materiaalien tutkimuslaitos.



Jutun kuvat: Erkki Jantunen.

Canmet Materialsilla on laitokset Hamiltonissa ja Calgaryssä. Laitos on Kanadan suurin metallien ja materiaalien valmistukseen, käsittelyyn ja analysointiin keskittynyt tutkimuskeskus. Tieteellinen ja tekninen laitoksen henkilökunta työskentelee tutkimus- ja kehitysohjelmien tavoitteenaan tuottaa kehittyneitä materiaaliratkaisuja Kanadan energia-, kuljetus-, ja metalliteollisuudelle.

Canmet Materialsin erityisenä tehtävänä on kehittää ja soveltaa kanadalaisille yrityksille teknologisia ratkaisuja, jotka perustuvat puhtaan energian, kestävän kehityksen sekä materiaalien käytön tehokkuuden periaatteisiin. Laitoksessa kehitetään menetelmiä, joilla parannetaan energian tuotannon luotettavuutta ja tehokkuutta, vähennetään kasvihuonekaasupäästöjä ja muita ympäristövaikutuksia

sekä edistetään terveyttä ja turvallisuutta.

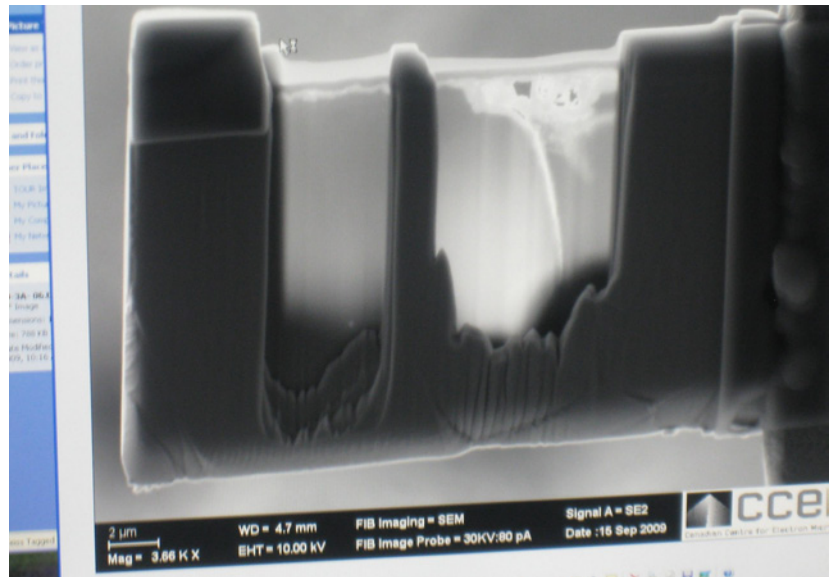
Laitoskierroksellamme meille esiteltiin tyhjöpumpulla varustettua kuumien ja sulien metallien seostustutkimuslaitteistoa sekä metallien paine- ja muotoilulaitteistoa. Työstölaboratoriossa tutustuimme metallien valssaukseen ja NDT-testauslaitteisiin sekä korroosiolaboratoriossa kuljetusvälinemateriaalien korkean lämpötilan ja paineen testaukseen käytettäviin autoklaaveihin.

Pääsimme myös näkemään useata tutkimukseen käytettävää elektronimik-

roskooppia tutkijoiden käytössä. (Energy dispersive X-Ray (EDX) composition analysis, transmission electron (TEM) or atom probe (APM) microscopy).

Esimerkkinä mikroskooppilla tutkittavista asioista on oheisen kuvan mukainen suunnatun särön kasvun tutkimus ydinvoimalaitoksen putkistossa. (Särö näkyy kuvassa vaaleana; huomaa mittakaava kuvan alareunassa).

Canmet Hamilton särön elektronimikroskooppikuva.



## McMaster University, Hamilton

Päivän toinen kohteemme oli McMaster yliopisto. Yliopistoon kuuluu kuusi tiedekuntaa:

- DeGrooten kauppakorkeakoulu
- teknillinen tiedekunta
- terveystieteiden tiedekunta
- humanististen tieteiden tiedekunta
- luonnontieteellinen tiedekunta
- yhteiskuntatieteiden tiedekunta

Tutustumisen pääorganisoijana oli professori **Adrian Buijs**, joka oli haalinut esittelijöiksi eri alojen tutkijoita ja asiantuntijoita.

Yliopiston suojissa toimii v. 1960 perustettu Brockhouse Institute for Materials Research (BIMR), joka on yksi Pohjois-Amerikan vanhimpia materiaalien tutkimuskeskuksia. BIMR on tieteellinen tutkimusorganisaatio, jonka tehtävänä on kehittää, tukea ja toteuttaa kaikenlaista materiaalitutkimusta McMaster yliopistossa.

Tutustuimme laitospöydällä materiaalien tutkimuksia tekeviin tutkijoihin ja tutkimusmenetelmiin. Erona aikaisempaan tutkimuslaitokseen on,

että McMaster yliopistossa tutkijat työskentelevät mikrometrimitakaavan sijasta nanometrimitakaavassa. Lähes jokaisen elektronimikroskoopin hankintahinta on miljoonaluokkaa.

Pysähdyimme seuraamaan tutkimusta mm. seuraavilla laitteilla.

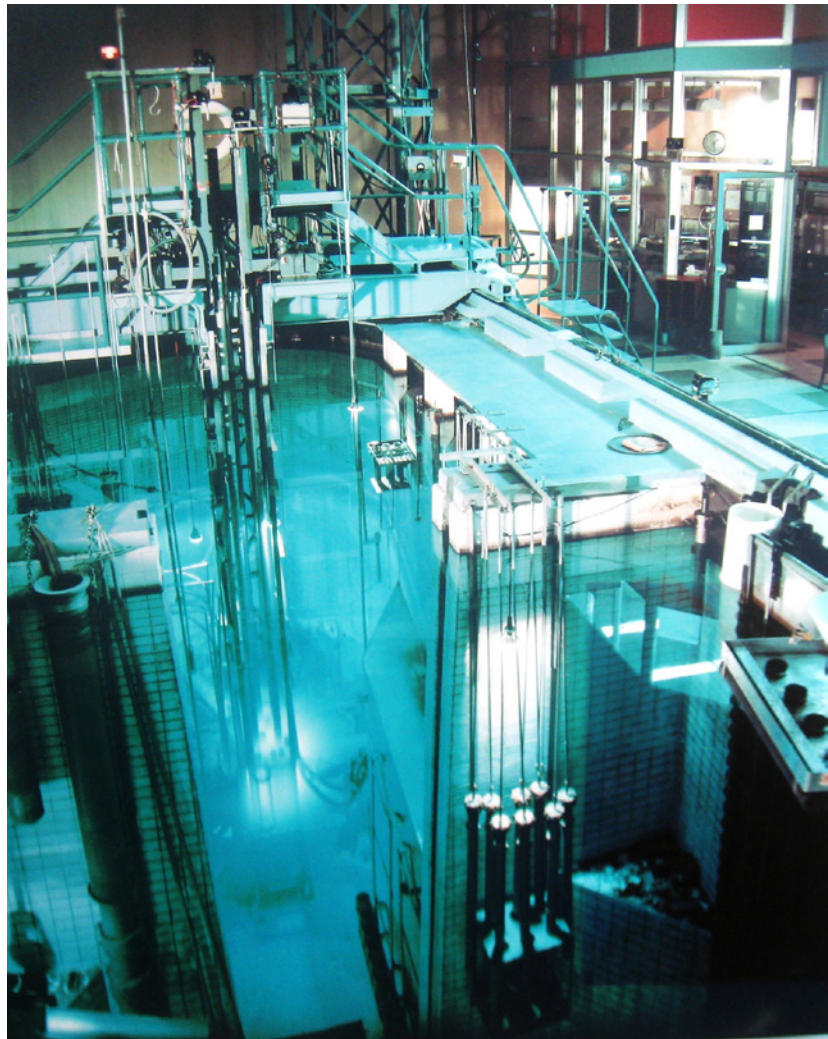
- FEI Titan 80–300 transmisselektromikroskooppi + 80–300 GB kuvan korjain kuumien (+2000°C) näytteiden tutkimukseen
- Zeiss NVision 40 kohdistetun ionisuihkun (FIB) laitteisto, jolla leikattiin 30–40 nm:n suuruisesta



MNR tutkimusreaktori Hamiltonissa.  
Kuvat: Erkki Jantunen.

- näytepalasta 7 nm:n paksuisia las-  
tuja korroosio- ja särönkasvututki-  
muksissa (MAPLE- reaktori)
- FEI Extreme High Resolution Scanning Electro Microscope (SEM) tutkittaessa kullan katalysikäyttöä platinan sijasta
  - CAMECA atom probe method, autoteollisuuden tilaama raerajatutkimus magnesiumumista
  - STEM-EELS kuvantamismenetelmän käyttö paikannettaessa Ytterbium ( $\text{Yb}^{3+}$ ), Ceria ( $\text{Ce}^{3+}$ ) ja Neodymium ( $\text{Nd}^{3+}$ ) kehitettäessä optisia materiaalien heijastusominaisuuksia, kuten laserit, tuikekammiot ja LEDit
  - FEI TITAN 80–300 HB transmissioelektronimikroskooppi tutkittaessa oksidoitumista atomitasolla 1 nm:n kokoluokassa EELS-Mapping menetelmällä; esimerkkeinä luusiirränäisten reagoiminen ihmiskehossa ja hampaan luutumisen.

Materiaalitutkimusta esitellen kierroksen lisäksi meillä oli tutustumiskohteena myös yliopiston vesiallastyyppinen tutkimusreaktori, MacMaster Nuclear Reactor (MNR). Se otettiin käyttöön huhtikuussa vuonna 1959 ja reaktorin alkuperäinen teho oli 1 MW,



mutta teho nostettiin 1970 luvulla nykyiselle enimmäistasolle 5 MW ja se on kanadalaisten yliopistojen suurin tutkimusreaktori. Termisen neutronivuon enimmäistiheys on  $10^{14}$  neutronia/ $\text{cm}^2/\text{s}$ . Nykyisin reaktoria käytetään arkipäivisin 16 h vuorokaudessa tehotasolla 3 MW.

Reaktorin sijoitus avoimeen vesialtaaseen tekee mahdolliseksi neutroneilla säteilytettävien näytteiden helpon syötön ja poiston reaktorista. Lisäksi useita säteilytysputkia pitkin neutroneita voidaan johtaa käytettäväksi muissa soveluksissa, kuten neutroniradiografiassa sekä neutronidifraktiokokeissa uudella vuonna 2009 käyttöön otetulla laitteistolla. MNR-tutkimusreaktorilla on myös teollisuusmittakaavan kuumakammio, jossa voidaan käsitellä korkea-aktiivisia, säteilytettyjä näytteitä.

MNR-reaktorilla suoritetaan vuosittain satoja tuhansia neutronisäteilytyksiä teollisuudelle muun muassa malmin etsintään ja ympäristönäytteiden analysointiin liittyen. Mainittakoon että MNR on maailman merkittävin radiojodin ( $\text{I-125}$ ) tuottaja lääketieteellisiin hoitotarkoituksiin. Tämän lisäksi MNR

kouluttaa ja pitää yllä henkilökunnan osaamista ydintekniikassa, turvallisuus-analyseissa, radioisotooppiuotannossa ja tuottaa korkealaatuisia teknisiä laitteita ydinvoimateollisuudelle.



DI Erkki Jantunen  
Laatupäällikkö  
Platom Oy  
erkki.jantunen@platom.fi



TKT Seppo Vuori  
seppo.vuori@welho.com



Perjantai 11.10.2013

# Babcock & Wilcox

Lokakuun 11. päivä, eli ekskursion viimeinen Kanadassa vietetty päivä aloitettiin totuttuun tapaan bussikyödyillä. Jätimme taaksemme Niagaran ja suuntasimme kulkumme kohti Cambridgeä, jonne matka kesti vajaat pari tuntia. Päivän ensimmäisenä vierailukohteena oli Babcock & Wilcoxin tehdas.

**T**ehtaalla meidät otettiin ystävällisesti vastaan. Vierailu aloitettiin, kuten lähes kaikissa muissakin vierailukohteissa, laitoksen turvallisuusohjeiden, poistumisteiden sekä kokoon-tumisaikojen läpikäymisellä ja kuinka on toimittava vaaran sattuessa. Myös kuvaamiskiellosta mainittiin.

Vierailun isäntänä toimi **Jun Tang**, joka toimii johtajana Marketing & Sales Nuclear Power -osastolla. Hän esitteli turvallisuusohjeiden jälkeen kalvosarjan yhtiöstä ja tehtaan historiasta, sekä kävi pääpiirtein läpi yhtiön toimialoja. Saimme myös kattavan mainospuheen pienistä modulaarireaktoreista, joita B&W on lisensioimassa.

## Taustaa

Babcock & Wilcoxin historia Kanadassa alkoi vuonna 1844, jolloin Cambridges-ssä aloitti pieni sulattamo. **John Goldie** ja **Hugh McCulloch** ostivat sulattamon vuonna 1859, jonka jälkeen vuonna 1923 se fuusioitui B&W:n kanssa. Vuonna 1963 yhtiön omistajuus siirtyi kokonaisuudessaan B&W:lle.

McDermott International Inc. osti B&W:n vuonna 1978. B&W ja BWXT toiminnot yhdistettiin 2007, jolloin syntyi Babcock & Wilcox Company. Vuonna 2010 B&W listautui itsenäisenä pörssiin, yhtiön pääkonttori sijaitsee Charlottessa Yhdysvalloissa ja tällä hetkellä sillä on työntekijöitä noin 12 000 ympäri maailmaa.

Nykyään Babcock & Wilcox on kansainvälinen energiayhtiö, jonka visio on olla kansainvälisesti johtava edistyneiden energia- ja toimintaratkaisujen toimittaja. B&W:n toiminta jakautuu viiteen osa-alueeseen, jotka ovat B&W Technical Services, B&W Nuclear Operations, B&W Power Generation, B&W Modular Nuclear Energy ja B&W Nuclear Energy.

B&W Kanadan pääkonttori sijaitsee Ontariossa, Kanadan ydinvoima-alalla B&W on ollut mukana vuodesta 1964.

## B&W toiminta Cambridges-ssä, Ontariossa

B&W:n Cambridges-ssä sijaitsevassa tehtaassa valmistetaan ydinenergiaan ja lämmöntuotantoon liittyviä komponentteja. Lisäksi Cambridges-ssä tuotetaan ydinenergiaan ja lämmöntuotantoon liittyviä palveluja. Tehtaan lattiapinta-ala on noin 37 000 m<sup>2</sup>, työntekijöitä tehdas-alueella on 700–1000. Tehtaalla ydinvoimaan liittyvä tuotanto koostuu tällä hetkellä CANDU:n ja PWR:ien komponenteista, kuten höyrystimistä (PWR ja PHWR), erilaisista lämmönsiirtimistä, reaktoripainesäiliön kansista, säiliöistä, paineistamista ja käytetyn polttoaineen kuivavarastosäiliöstä.

B&W:n tuotantoon Kanadassa kuuluu kattavien ydinvoimalaitteiden ja -palvelujen lisäksi myös polttoaineiden tuotantoon liittyvien komponenttien valmistusta ja palveluja, kuten kattilo-

den valmistamista ja laitteiden varaosien rakentamista, kunnossapitotöitä ja korjauspalveluja.

## Laitoskierros

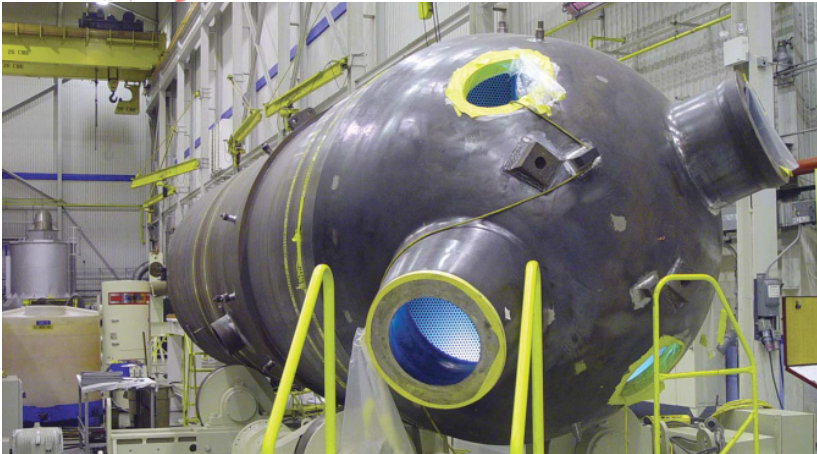
Laitoskierros aloitettiin vierailamalla maailman suurimmassa ydinvoima-alan puhdasasennushuoneessa. Tilaan mentäessä ja sieltä poistuttaessa kuljettiin erillisen eteisen läpi ja ”tarramattojen” yli, mutta muuten ei juuri huomannut olevansa mitenkään erityisessä paikassa. Hiljaista laitoksessa oli, mutta siihen taisi vaikuttaa Kanadan kiitospäivää edeltävä ”yleinen vapaapäivä”. Tiloissa kuljettiin omissa vaatteissa ja kengissä.

Puhdasasennushuoneessa oli rakenteilla mm. 36 tuuman putkistoja Davis-Bessen ydinvoimalaitoksen putkistousintaa varten. Siellä oli työn alla myös höyrystimien sisäputkien hitsaus. Höyrystin koostui 16 000 putkesta ja hitsaus tehdään automatisoidulla TIC-laitteella. Osien lämpökäsittely tehdään muualla.

Laitoskierrosta jatkettiin halliin, jossa rakennettiin mm. käytetyn polttoaineen kuivavarastosäiliöitä. Kierroksen aikana saimme nähdä säiliöiden koko tuotantoprosessin ja kuulla, että B&W on yksi suurimpia käytetyn polttoaineen kuivavarastosäiliöiden valmistajia Kanadassa, joka on ainoa paikka missä tämän mallisia säiliöitä käytetään.

Tehtaan tämänhetkinen tuotanto menee Kanadaan OPG:lle (Ontario Power Generation), jonka kanssa B&W on tehnyt pitkäaikaisen sopimuksen kuivavarastosäiliöiden valmistamisesta. Cambridgen tuotantolinjalla pystytään samanaikaisesti valmistamaan 13 säiliötä. Yhden varastosäiliön valmistaminen kestää yhdeksän viikkoa, kun töitä tehdään yhdessä vuorossa. Tehtaan tuotanto on noin 50 kappaletta vuodessa. Tehtaan tuotantokapasiteetti on helposti nostettavissa työvuoroja lisäämällä, jolloin yhden säiliön valmistamisaika saadaan lyhennettyä kuuteen viikkoon ja tuotantokapasiteetti kaksinkertaistettua.

Tarvetta tuotannon kasvattamiselle on, sillä Kanadassa on vain kaksi tämän



Babcock & Wilcoxin valmistaa ydinennergiatoimijoille mm. hoyrystimia. Kuvat: ©2013 Babcock & Wilcox Canada Ltd. All rights reserved. Image reprinted with permission.

mallisten varastosäiliöiden toimittajaa ja tulevaisuudessa säiliöiden kysyntä kasvava suljettavien ydinvoimalaitosten tarpeiden tyydyttämiseksi.

Kuivavarastosäiliö koostuu kahdesta erillisestä osasta; säiliön rungosta ja kannesta. Säiliön ja kannen kaksinkertaiset seinämät on valmistettu 12,7 mm paksusta hiiliteräksestä. Hiiliteräsrungon väli on 510 mm ja se on täytetty erikoistiheällä raudoitettutulla betonilla. Säiliön kansi kiinnitetään runkoon polttoaineen täytön jälkeen hitsaamalla.

Ennen säiliön viimeistelevää maalausta sille tehdään mm. tiiveyskoe heliumilla ja se läpivalaistaan röntgenillä mahdollisten laatuerojen havaitsemiseksi. Maalaus tehdään pulveriruis-kumaalauksena, jossa laatuvaatimukset on korkeat, jotta vältetään ruostumisongelmilta, mutta myös huonon julkisuuden ehkäisemiseksi. Ei nimittäin näyttäisi hyvältä jos julkisuuteen tulisi kuvia ruostuneista käytetyn polttoaineen varastointisäiliöistä.

Valmis varastosäiliö painaa tyhjänä noin 66 tonnia, josta noin 54 tonnia on



Valmiita kuivavarastosäiliöitä. Kuvat: ©2013 Babcock & Wilcox Canada Ltd. All rights reserved. Image reprinted with permission.

betonia. Täytettynä käytetyllä polttoaineella kuivavarastosäiliö painaa noin 80 tonnia.

### Pienet modulaarireaktorit: B&W mPower™ Reactor

Kierroksen jälkeen palasimme takaisin neuvotteluhuoneeseen, jossa jatkoimme keskustelua muun muassa pienistä modulaarireaktoreista (mPower™), jonka olisi voinut kuulemma ostaa millä tahansa luottokortilla.

Reaktorit ovat skaalattavia, modulaarisia, ALWR-tyyppisiä reaktoreita, jossa reaktorisydän ja höyrystin on yhdistetty, mistä johtuen reaktorikannessa ei ole läpivientejä. Moduulireaktoreiden lämpöteho on 530 MW ja sähköteho 180 MW. Reaktorien suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta.

Modulaarireaktorin reaktorisydän koostuu 69 polttoainepöytästä ja säätösäilytyksestä. Polttoaineena käytetään ns. normaalia PWR-polttoainetta, eli alle 5 % <sup>235</sup>U-rikastettua uraania. Polttoainekierto on neljä vuotta, jolloin vaihdetaan kaikki polttoaine, välilatauksia ei ole tarvetta tehdä.

Reaktorin suunnittelun lähtökohta on käytetty passiivista turvallisuusajattelua. Tästä esimerkkinä muun muassa, että kaikki turvallisuuteen liittyvät järjestelmät ovat maan alla, reaktorisydämen jäänteet peittyvät kaikissa suunnitteluperusteisissa onnettomuuksissa. Reaktorissa ei myöskään ole mitään aktiivisia hätäjäähdytysjärjestelmiä tai verkkovirralla toimivia turvallisuuteen liittyviä järjestelmiä.

Laitos ei sisällä suuria putkia, joten siellä ei voi tapahtua jäähdytteenmenetysonnettomuutta. Laitoksen täydellisen

ulkoisen sähkönmenetyksen jälkeen on sen ajateltu selviävän noin 14 vuorokautta. Käytetty polttoaine on myös maan alla, reaktorirakennuksen sisällä. Suuren vesimäärän vuoksi käytetyn polttoaineen varastoaltaiden veden on laskettu riittävän 30 päiväksi.

Vierailun loppuksi saimme perinteiseen kanadalaiseen tapaan sämpylöitä ja limpparia. Poikkeuksellisesti pöydällä oli myös kahvinkeitin, mutta oheistarvikkeet (kahvi ja kupit) saatiin vasta kun joku keksi koputella keitintä, mikä saikin isäntiin vipinää ja tykötarpeet tulivat pöytään nopeasti. Loppu hyvin kaikki hyvin ja kahvia saatiin sen verran, että pysyttiin hereillä myös seuraavassa vierailukohteessa.



DI Tanja Ronkainen  
Vanhempi turvallisuusinsinööri  
Fortum Power and Heat Oy  
tanja.ronkainen@fortum.com



DI Tomas Lehtimäki  
Undersökningsledare  
Svensk Kärnbränslehantering AB  
tomas.lehtimaki@skb.se

# Mirion Technologies

Mirion Technologies kertoo olevansa johtava säteilyvalvontalaitteiden ja -järjestelmien valmistaja maailmassa. Yrityksen mukaan sen tuotteita löytyy tänä päivänä jopa 90 prosentista maailman ydinreaktoreista sekä lukuisista sotilaallisista, lääketieteellisistä ja teollisista sovelluksista.

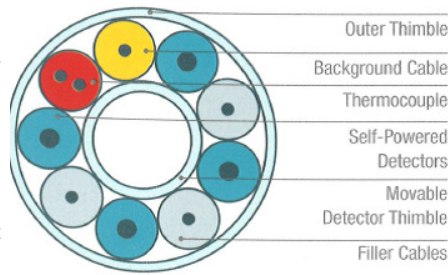
Vaikka yritys syntyi nykyisellä nimellään vasta vuonna 2005, Mirionin muodostaneiden yhtiöiden osaamisella on pitkä ja monipuolinen historia. Global Dosimetry Solutions (aikaisemmin ICN Dosimetry) on henkilödosimetriapalveluihin erikoistunut toimittaja, jonka juuret ulottuvat yli puoli vuosisataa ajassa taaksepäin.

MGP Instruments puolestaan tarjoaa säteilymittausjärjestelmiä esimerkiksi ydinvoimaloiden aluevalvontaan, sekä erilaisten prosessien reaaliaikaiseen seurantaan. Mirionin tuotevalikoimaan kuuluvat myös kameravalvontajärjestelmät säteilytason tai lämpötilan suhteen vaativiin olosuhteisiin.

Suomalainen osa Mirionin tarinaa on RADOS Technology Oy, jonka erityisosaamista ovat muun muassa henkilö- sekä ajoneuvomonitorit. RADOS Technology liittyi vuonna 2002 osaksi SynOdys Groupia, josta puolestaan kolme vuotta myöhemmin tuli osa Mirionia. Mirion Technologies (RADOS) toimii Turussa ja on Suomen Atomiteknillisen Seuran kannatusjäsen.

Ekskursiomme Kanadan osion ohjelman päätti perjantaina vierailu Mirionin Sensing Systems -divisioonan toimipisteeseen Cambridgessa. Tämän divisioonan taustalla on Mirioniin yhdistynyt Imaging and Sensing Technology Corporation (IST), joka vuonna 1988 oli erkaantunut Westinghousesta. Cambridgen toimipiste on Mirionin ainoa Kanadassa, keskittyen ydinreaktorien sydämissä käytettäviin mittalaitteisiin. Puolet vierailukohteemme liikevaihdosta tulee kaupasta Yhdysvaltojen sotilasvoimien kanssa. Suomessa Cambridgen toimipisteen asiakkaita ovat muun muassa Loviisan voimalaitos sekä Arevan Olkiuoto 3 projekti.

Meidät otti ovella vastaan divisioonan presidentti **Iain Wilson**, ja heti sisään astuttuamme saimme tietokoneruudun välityksellä tervetuloitotuksen myös selvällä suomen kielellä. Emme kuitenkaan tavanneet paikan päällä kotimaisen kiellemme taitajaa, joten voimme vain spekuloida liekö Turun suunnalta annet-



*Tyypillinen reaktorisydämeen asennettava ilmaisinyksikkö jossa on taustailmaisimien (Background Cable), termoelementti (Thermocouple) sekä omatehoisia neutronivuon ilmaisimia (Self-Powered Detectors). Kuva: Mirion esite.*

tu Atlantin taakse kielipoliittista konsulttaatiota.

Tehdas on toiminut Cambridgessa 50 vuotta ja tämä perinteisyys oli selvästi havaittavissa toimisto- ja tuotantotiloissa. Kiertokäyntiä varten jakauduimme neljän hengen ryhmiin, mikä olikin aiheellista koska paikoin tilat olivat suhteellisen kompaktit.

Työntekijöitä toimipisteessä on tällä hetkellä 48. Tuotantotiloissa antureiden valmistus näytti tapahtuvan hyvinkin käsityövaltaisesti ja jopa yli 30 metriä pitkät ilmaisinyksiköt kiemurtelivat käärmäisesti pitkillä pöydillä.

Pitempien ilmaisinyksiköiden tarpeen myötä tiloja oli myös jouduttu laajentamaan jotta tuotteiden kokoonpano onnistuisi.

Kuvassa nähdään poikkileikkaus tyypillisestä reaktorisydämeen asennettavasta ilmaisinyksiköstä, jossa on taustailmaisimien, lämpöelementti sekä neljä omatehoista neutroni-ilmaisinta.

Ilmaisinyksikkö on siis pitkän kaapelin mallinen ja sen metallinen ulkokuori materiaali on valittu kestäväksi ydinreaktorin äärimmäisiin olosuhteisiin.

Ilmaisimet voivat olla joko liikuteltavia ulko- ja sisäkuoren välisessä lokerossa, tai kiinteästi paikallaan. Ilmaisinyksikkö voidaan asentaa reaktoriin joko ylä- tai alapuolelta. Tyypillinen neutronivuonilmaisimien valmistusmateriaali on rhodium, mutta myös platinaa

ja vanadiinia käytetään.

Neutronivuon ilmaisimissa on kaksi elektrodiä, emitteri ja kollektori. Säteilyn aikaansaamat korkeenergiset elektronit kulkeutuvat elektrodien välillä, tavallisesti niin että nettoliike suuntautuu emitteriltä kollektorille. Tätä varaustenvaihtoa kompensoiva vastakkaissuuntainen sähkövirta, joka siis myöskin on suoraan verrannollinen laitteeseen osuvan säteilyn intensiteettiin, mitataan. Rhodium-ilmaisimen elinikä on tyypillisesti kolmesta neljään vuotta, riippuen myös ilmaisimen paikasta reaktorissa. Taustailmaisimien on muuten vastaava kuin omatehoisten neutronivuon ilmaisimien, mutta ilman emitteriä.

Verrattuna ilmaisinyksikön kokonaispituuteen, varsinainen ilmaisinosana on lyhyt (suuruusluokkaa muutama kymmenen senttimetriä) joten se voidaan asemoida haluttuun kohtaan reaktorissa. Signaalikaapeli on ilmaisinosan suora jatke, ja siten samanpituisen kuin koko ilmaisinyksikkö. Laitteen kriittisin osa on läpivienti reaktorin sydäimestä sen ulkopuolelle. Tästä kertoessaan isäntämme äänestä huokui erityisen suuri ammattilypeys osaamisesta.

Kun kiertokäyntien loputtua saimme ryhmämme kokoon ja hyvästelimme isäntämme, oli aika astua bussiin matkalle kohti lentokenttää. Matkaajien eriaikaisesta matkaväsymyksestä huolimatta teimme kuitenkin vielä reitin varrella sijaitsevassa kauppaalukkeiden keskittyneessä viimeisen pakollisen pysähdysten ja matkalaukkujen täydennyksen.



*FT Päivi Nieminen  
Suunnitteluinsinööri  
Fortum Power and Heat Oy  
paivi.h.nieminen@fortum.com*

Lauantai 12.10.2013

# Islanti

Islantiin saavuttiin lauantai-aamuna 12.10. Seitsemän tunnin lennon, ja lentokoneessa hyvin nukutun yön, jälkeen laskeuduttiin haparoiden tuuliselle Reykjavikin Keflavikin kentälle. Lentokentältä ei ihan nopeasti päästykään pois, koska Islannissa tehdään turvatarkastus lännestä tuleville matkustajille myös maahan tullessa.



Aamupalaravintola Sandgerdissä. Kuva: Tomas Lehtimäki.



Blue Lagoon. Kuva: Tomas Lehtimäki.

Lentokentällä meitä oli vastassa Islannin paikallisopas **Pétur Magnússon**, joka vei meidät aamiaiselle Sandgerdin kalastajakylään. Ja kyllä pohjoismainen aamupala maistuikin hyvältä niiden vaihtelevien Kanadan tarjoilujen jälkeen.

Hyvän aamiaisen (ja kunnan kahvin!) jälkeen suuntasimme kulkumme Siniselle laguunille, kuumien lähteiden kylpylään, joka sijaitsee Reykjavikin niemimaalla keskellä autiota laavakenttää, noin 25 km päässä Keflavikin lentokentältä. Matkalla kohti laguunia pysähdyimme Euroopan ja Amerikan mannerlaattojen saumakohdassa, Midlinassa, jossa hypimme Amerikan ja Euroopan välillä. Laatat liikkuvat eri suuntiin, noin 2 cm vuosivauhtia, joten Amerikka ajau-

tuu koko ajan kauemmaksi - hyvä niin.

Tuuletettuamme itseämme kunnolla virkistävissä Islannin ulkoilmassa oli mukava hypätä Sinisen laguunin lämpimään ja miellyttävään veteen. Laguunin vesi on noin 35-asteista, turkoosinsinistä ja läpinäkymätöntä.

Vesi, joka johdetaan laguuniin syvältä maan uumenista, on hyvin mine- raalipitoista, koostuen mm. kvartsista ja erilaisista levistä, joiden väitetään olevan terveellisiä iholle. Laguunilla saikin kokeilla kvartsinaamiota, kuten moni meistä teki - terveysvaikutuksista ei tosin saatu näyttöä, mutta mukavan sävyn kasvoille.

Siniseltä laguunilta löytyi iloksemme myös saunoja; ihan perinteinen suomalainen sauna, sekä kallion sisään rakennettu höyrysauna.

Kylpemisen ja pikaisen hotellikäynnin jälkeen lähdettiin jännittävälle jeeppi-ajelulle. Ajelimme kahdella jeepillä pitkin Islannin maaseutuja ihailien maisemia ja islanninhevoseja, joita saarella ker-rotaan virallisesti olevan noin 90 000.

Jeeppiajelun ensimmäisenä pysähtymispaikkana oli Hellisheiðin geotermi- ninen voimalaitos, joka sijaitsee Hengill-tulivuoren kupeessa. Hengill on purkautunut viimeksi noin 2000 vuotta sitten, mutta pelkoa ei siihen kuulemma ollut. Vierailulla tutustuttiin laitoksen toimintaan videolta. Laitoksen opas käytti meitä myös turbiinihallin parvekkeella.

Hellisheiðin geotermi- ninen voimalaitos on aloittanut sähköntuotannon vuonna 2006, jolloin käynnistettiin kaksi 45

MW:n korkeapaineista turbiinia. Nyky- sin voimalaitoksen kapasiteetti on 300 MW sähköä ja 400 MW lämpöä, sen ollen maailman suurin geotermi- ninen voimalaitos.

Islannin poikien viritetyt vehkeet, jotka saivatkin kovaa kyytiä iltapäivän aikana. Kuva: Tomas Lehtimäki.

Midlina. Kuva: Tanja Ronkainen.





*Uusinta iglu-muotia, vai mitä? Ei sentään, kyseessä on rakennelma reikiä varten, joista johdetaan kuuma vesi ja höyry voimalaitokselle. Kuva: Tomas Lehtimäki.*



*Näkymä tuotantolaitokselta. Lauhdutin, turbiini ja generaattori. Kuva: Tomas Lehtimäki.*



*Maisema, jossa sijaitsi Islannin parlamentti 1000-luvulla. Kuva: Tomas Lehtimäki*



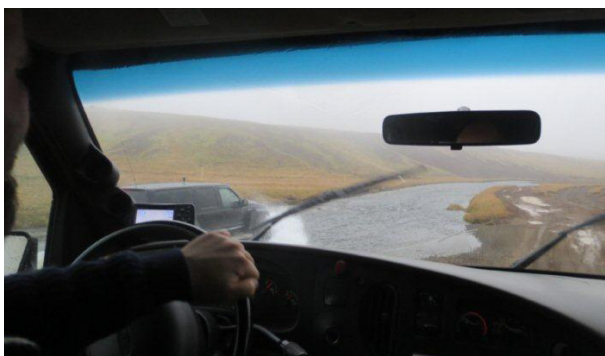
*Islannin maaseutumaisemaa. Kuva: Tanja Ronkainen.*

Voimalaitoksen alueelle on porattu 57 kpl 2,5–3 km syviä reikiä, joista johdetaan n. 300 asteista vettä ja höyryä voimalaitokseen. Höyrynerotuksessa höyry erotetaan vedestä, jolla lämmitetään pinnallista pohjavettä kaukolämmön tuottamiseen. Höyry ohjataan turbiiniin, joka pyörittää generaattoria sähkön tuottamiseen.

Lyhyen voimalaitoskierroksen jälkeen kiertoajelua jatkettiin jeeppikyädillä ojanpohjia pitkin kohti Þingvellirin kansallispuistoa, jossa jalkauduttiin ihaillemaan maisemia ja oppimaan historiaa. Opimme, että Þingvellirissä oli muinainen Islannin parlamentin, alltingin, kokoontumispaikka, jossa puhemies luki ääneen lakia ja lisäksi paikka toimi lakiasäättävänä tuomioistumena.

Opas kertoi, että Islannin parlamentti on yksi Euroopan vanhimmista, ellei vanhin, sillä Þingvellirissä käräjät on aloitettu jo 900-luvulla. Samaisella paikalla julistettiin n. vuonna 1000 kristinusko Islannin viralliseksi uskonnoiksi ja vuonna 1947 Islanti itsenäiseksi. Þingvellirissä nähtiin mahtavien maisemien lisäksi isoja kaloja, enemmän kuin kalastajamme Kanadassa.

Ajelun aikana oppaamme kertoi monia tarinoita Islannista ja sen karuista oloista. Vinkkinä islantilaisiin metsiin eksyvälle hän antoi neuvoksi nousta seisomaan. Islannista jäi myös mieleen, että karuista oloista huolimatta - tai niistä johtuen - ihmiset ovat erittäin iloisia ja huumorintajuisia.



*Toinen jeeppi yrittää epätoivoista ohitusta joenpohjaa pitkin. Kuva: Tanja Ronkainen.*

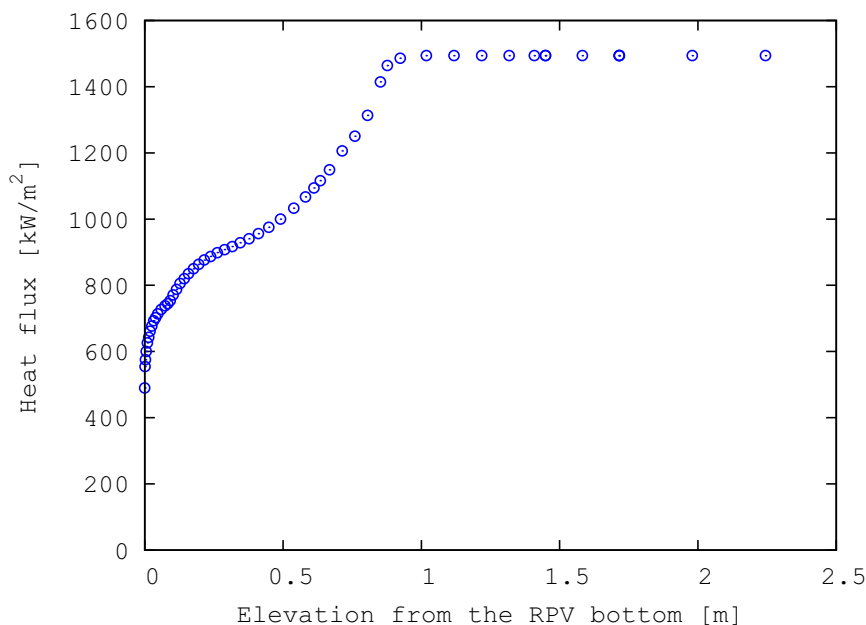
*Kirjoittajat:*

*DI Tanja Ronkainen  
Fortum Power and Heat Oy  
tanja.ronkainen@fortum.com*

*DI Tomas Lehtimäki  
Svensk Kärnbränslehantering AB,  
tomas.lehtimaki@skb.se*

## Sydänsulan kerrostuminen ja lämmönsiirto Loviisan ydinvoimalaitoksella

Sydänsulan hallitsemiseksi vakavissa onnettomuuksissa Loviisan ydinvoimalaitoksella on valittu sulan paineastiassa pidättäminen paineastiaa ulkopuolelta jäähdyttämällä. Menetelmässä reaktorikuoppa tulvitetaan vedellä, joka jäähdyttää paineastiaa ulkopuolelta ja kiertää luonnonkierrolla.



Laskettu lämpövuojakauma 2- ja 3-kerrosrakenteella suuren jäähdytteenmenetysonnettomuuden tapauksessa. Tasainen alue 1-2 m välillä on ylemmän metallikerroksen alue.

Paineastian pohjalle päätyneet sydänsula koostuu kahdesta faasista. Perinteisesti on ajateltu oksidisen faasin koostuvan lähinnä uraanin ja zirkoniumin oksideista ja metallisen faasin teräksestä ja hapettumattomasta zirkoniumista. Tällöin metallifaasin tiheys on pienempi ja paineastian pohjalle muodostuu kaksikerroksinen rakenne, jossa oksidinen materiaali on alla ja metallinen materiaali päällä. Vuosina 2000–2007 suoritetun MASCA-kokeiden perusteella on mahdollista, että zirkoniumin hapettumisen seurauksena uraania pelkistyy niin paljon, että metallifaasin tiheys saattaa nousta oksidifaasin tiheyttä korkeammaksi. Diplomityössä MASCA-kokeiden tuloksia sovelletaan Loviisan sydänsula-altaan mahdollisten kerrosrakenteiden selvittämiseksi, sydänsulan paineastiassa pidättämisen onnistumisen arvioidaan 3-kerrosrakenteella ja kuvataan sydänsulan lämmönsiirtolaskuihin käytettävän ohjelman päivittäminen pohjakerroksen mallintamiseksi.

Sydänsulaa ulkopuolelta jäähdytettäessä lämpö johtuu paineastian läpi ja siirtyy ulkopuolella kiehuvaan veteen. Mikäli kriittinen lämpövuoto ylitetään ja kuplakiehua muuttuu kalvokiehunnaksi, lämmönsiirtokerroin paineastian ulkopinnalla pienenee ja paineastia sulaa puhki.

Lämmöntuotto sula-altaassa tapahtuu pääosin oksidikerroksessa, mistä lämpö johtuu joko suoraan paineastian seinään tai metallikerrokseen. Noin puolet oksidikerroksessa syntyvästä lämmöstä siirtyy ylemmän metallikerrokseen.

Ylemmästä metallikerroksesta lämpö siirtyy konvektiolla paineastian seinään kerroksen alueella tai säteilemällä paineastian ylempiin osiin. Ylämetallikerroksen ohetessa lämmönsiirto paineastian seinän läpi kohdistuu pienemmälle alueelle ja näin ollen lämpövuoto kasvaa. 3-kerrosrakenteessa alemmaan metallikerrokseen siirtyvä materiaali ohentaa ylemmää metallikerrosta, minkä seurauksena riski kriittisen lämpövuonon ylittymisestä kasvaa.

Laskentatapauksissa todetaan 3-kerrosrakenteella marginaalin kriittiseen lämpövuohon pienenevän 2-kerrosrakenteeseen verrattuna, mutta pysyvän edelleen suurena kaikissa perustapauksissa. Herkkyystarkasteluissa vähennettäessä sulavan metallin määrää huomattavasti, on kriittisen lämpövuonon ylittyminen mahdollista onnettomuuskenaarioissa, joissa myös zirkoniumin hapettumisaste on matala. Tästä huolimatta sydänsulan paineastiassa pidättämisen onnistumistodennäköisyys Loviisan ydinvoimalaitoksella arvioidaan korkeaksi.

DI Taisto Laato  
Suunnitteluinsinööri  
Fortum Power and Heat Oy  
Ydinturvallisuusosasto  
taisto.laato@fortum.com





## Kuka herättäisi lehmän ennen kuin pimenee?

”Termodynamiikan toisen pääsäännön korollaari: ennen kaikki oli paremmin.”

**H**indulaisuudessa pyhä lehmä on yltykälläisyyden ja hedelmällisyyden lähde, Äiti Maan vertauskuva. Tapahtui mitä tahansa, pyhään lehmään ei saa kajota. Kun lehmä makaa raiteella, junat pysähtyvät odottamaan kunnes *taurus* päättää jatkaa märehmistään muualla.

Ydinvoima-alalla vallitsee vahva uskomus siitä, että Suomen menestys ydinenergian käytössä johtuu ydinenergialakimme erinomaisuudesta. Laki on kuin pyhä lehmä, jonka olemuksen kyseenalaistaminen vie sadot ja tuo epäonnen. Kun lakia kahdenkymmenennen toisen kerran kiillotettiin vuonna 2012, todetaan perusteluissa lakonisesti, että laki ”on käytännössä osoittautunut toimivaksi kokonaisuudeksi” (HE 145/2011 vp, s. 4). Totta, asiat voisivat olla vielä paljon huonomminkin.

Ydinenergilaki on kuin turkulainen tanssipoppiporukka Bogart Co. – ehtaa kasarimeininkiä ja melkein kansainvälisesti vertailukelpoinen. Lakia on sittemmin viilattu sieltä täältä lähes samaan tahtiin kuin laitoksissa vaihdetaan ydinpolttoainetta, ja se valitettavasti näkyy. Kiilto vähenee, tulee kolhuja sinne tänne.

Konkreettisimpänä hutilointina lain 64 §:ssä on yhä viittaus ydinenergia-neuvottelukunnan lausuntoon, vaikka konklaavi lakkautettiin vuonna 2008. Ohimennen sanoen, olisiko syytä palauttaa ydinenergian käytön edellytyksiä yleisesti pohtiva neuvottelukunta Suo-

meen lausuntoja antamaan, ennen kun edellytykset ovat kokonaan menneet.

Uuvuttava lista lakimuutoksia saattaa luoda käsityksen, että kokonaisuudesta on pidetty hyvää huolta. Mutta onko näin? Ydinvoimalaitoksilta edellytetään säännöllisesti kokonaisarviointeja, miksei niiden toimintaa raamittavalta lainsäädännöltä? Miksei Bogart Co. näytä ja kuulosta enää niin hyvältä kuin vuonna 1987?

Pelkkä huoltaminen ei enää riitä. Koko paketti on avattava uudistuksille, sillä isoja ongelmia ei ratkota näpertelyllä: periaatepäättösprosessin mielekkyys, sijoituspaikan luvittaminen, rakentamis- ja käyttöluopamenettelyjen sisällöt ja integraatio, rakentamisen valvonta, luvanhaltijan velvollisuuksien ja viranomaisen valvonnan tasapainottaminen sekä ydinjätehuoltoyhteistyö. Aurinko laskee, ja lehmä torkkuu kiskoilla.

\*\*\*

Joskus kun raide on tukossa, on parempi etsiä toinen reitti. Pekkarisen pyyhittyä Loviisa kolmosella Aleksin nelosen lattiaa vuonna 2010 Fortum reagoi pettymykseen lapsellisen hellyttävästi: kiukutteli loukkaantuneena, ettei enää lähde pilkille ellei saalista luvata jo ennen jään kairaamista. Ihmettä odotellessa yhtiö on ilmoittanut olevansa ulkomailla kalastelemassa.

Pikkukaloja on kai tullut, ja yli kolmen vuoden pilkkimisen jälkeen koukkuun

tarttui isompi vonkale: syyskuun alussa Venäjän valtion ydinvoimayhtiö Rosatom ja Fortum julkistivat tekevänsä yhteistyötä VVER-laitosten rakentamiseksi Englantiin. Iso-Britannia onkin potentiaalinen *Eldorado*, onhan ranskalainen EdF saanut neuvottelua kahdelle Hinkley Point C -hankkeelleen muhkean yli sadan euron takuuhinnan 35 vuodeksi. On muille mukavaa, että hinta-ankkurina on juuri EPR.

Saksan ja Itävallan mielestä ei tietenkään ole reilua, että ydinvoimalle aiotaan maksaa tuotantotukea samaan tapaan kuin uusiutuville on maksettu vuosia. Euroopan komissio tutkii nyt brittien päätöstä ennakkotapauksena. Saksa-Itävalta vastaan Englanti-Ranska -asetelmalla on pitkät perinteet Euroopan tulevaisuuden määrittäjänä...

Rosatomin ja Fortumin yhteistyön julkistaminen sattui muuten samaan aikaan, kun Fennovoima ilmoitti Rosatomin valitsemisesta laitostoimittajakseen. Turvallisuusinsinööri odottaakin mielenkiinnolla venäläisten ilmoitusta siitä, että Keilaniemi on kuin onkin mukana myös Hanhikivi-hankkeen toteutuksessa. Siinä loksahdaisi moni palanen kohdalleen.

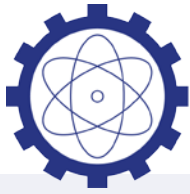
\*\*\*

Turvallisuusinsinööri on muuten astunut hiljattain pois kaapista ja liittynyt sosiaaliseen mediaan. Seuraa Twitterissä: @atsturvins.



*Presidentti Eisenhowerin Atoms for Peace -puheesta YK:n yleiskokouksessa tuli kuluneeksi 60 vuotta 8. joulukuuta. Usko ydinteknologiaan oli tuolloin valtava, muiden muassa Atomic Energy Commissionin puheenjohtaja Lewis Strauss arvioi, että ydinvoimalla tuotettu sähkö ei maksaisi tulevaisuudessa mitään. Taisi kuitenkin tarkoittaa fuusioenergiaa.*

*Kuvassa Summer 2 ja 3 -yksiköiden rakennustyömaa 4.11.2013 Fairfieldissä Etelä-Carolinan osavaltiossa. Kahden Westinghousen AP1000-laitosyksikön arvioidaan tuottavan sähköä 2017 ja 2018. Kuva: South Carolina Electric & Gas.*



# 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	TkT Olli Okko STUK olli.okko@stuk.fi
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 Ilkka Männistö Fennovoima ilkka.mannisto@fennovoima.fi
	DI Juhani Palmu Posiva juhani.palmu@posiva.fi
	DI Tapani Raunio Fortum Power and Heat Oy tapani.e.raunio@fortum.com
	TkT Filip Tuomisto Aalto-yliopisto filip.tuomisto@aalto.fi
	TkT Timo Vanttola VTT timo.vanttola@vtt.fi

## Toimihenkilöt

ATS Young Generation	DI Antti Paajanen Fortum antti.paajanen@fortum.com
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 2013 lehtien teemat:

1/2013

Jätenumero

2/2013

Tutkimus

3/2013

ATS Työryhmät

4/2013

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:**

---

Kai Kesäläinen, TVO  
Leena Malinen, Helsingin yliopisto  
Mikko Tiippana, Fennovoima  
Jukka Kuva, Helsingin yliopisto  
Jan-Erik Holmberg, Risk Pilot AB

**Opiskelijajäsen:**

---

Matti Huhtinen, LUT

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**