

# ATTS

4|2015

Vol. 44

## YDINTEKNIikka

---

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

---

### **Posivalle myönnettiin rakentamislupa**

Tärkeä askel vastuullisessa ydinenergian käytössä. Miten lupa-prosessi sujui Posivan näkökulmasta?

### **KYT2014-tutkimus- ohjelman keskei- simmät tulokset**

Kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelma 2011–2014 tuotti merkittävän määrän julkaisuja ja opinnäytteitä.

### **ATTS:n Syysseminaari**

Esityksiä ajankohtaisista hankkeista ja paneelikeskustelu ydinvoiman kannattavuudesta.



## Julkaisija / Publisher

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

### Johtokunta / Board

#### Puheenjohtaja / President

DI Kai Salminen  
puheenjohtaja@ats-fns.fi

#### Varapuheenjohtaja / Vice President

TkT Filip Tuomisto  
filip.tuomisto@aalto.fi

#### Sihteeri / Secretary General

DI Henri Loukusa  
sihteeri@ats-fns.fi

#### Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Lauri Pyy  
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

#### Jäsenet / Board Members

DI Ilkka Männistö  
ilkka.mannisto@fennovoima.fi

DI Tuomas Rantala  
tuomas.rantala@tvo.fi

FL Lasse Koskinen  
lasse.koskinen@posiva.fi

### Toimihenkilöt / Functionaries

#### ATS Young Generation

DI Henri Ormus  
henri.ormus@fennovoima.fi

#### Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

TkT Jari Tuunanen  
jari.tuunanen@fortum.com

#### Energiakanava / Energy Channel, WiN Finland

TkT Liisa Heikinheimo  
liisa.heikinheimo@tvo.fi

#### www.vastaava / Webmaster

TkT Heikki Suikkanen  
webmaster@ats-fns.fi

#### ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkL Eero Patrakka  
eero.patrakka@kolumbus.fi

### Toimitus / Editors

#### Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

DI Anna Nieminen  
anna.nieminen@vtt.fi

#### Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

TkT Liisa Heikinheimo  
liisa.heikinheimo@tvo.fi

#### Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

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

#### Toimitussihteeri / Lay-out Editor

Katariina Korhonen  
Suunnittelutoimisto Creatus  
katariina@creatus.fi

#### Toimitus / Editorial Staff

DI Klaus Kilpi  
klaus.kilpi@welho.com

DI Lauri Rintala  
lauri.rintala@fennovoima.fi

DI Eveliina Takasuo  
eveliina.takasuo@vtt.fi

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

DI Risto Vanhanen  
risto.vanhanen@aalto.fi

### Toimituksen yhteystiedot

#### ATS Ydintekniikka

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

#### Painopaikka

Wellprint Oy, Espoo

ISSN-0356-0473

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

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

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

# Muutoksista

**S**UURIN OSA IHMISSISTÄ suhtautuu muutoksiin melko neutraalisti varsinkin, jos muutoksella ei ole suoranaista vaikutusta häneen itseensä. Mikäli kuitenkin muutos kohdistuu henkilön toimintaan tai hänelle merkitykselliseen kohteeseen, reagointi on yhä varmempaa. Negatiivinen suhtautuminen aluksi vaikuttaa lähes automaattiselta puolustusmekanismilta. Olemme erilaisia siinä suhteessa, kuinka kauan meiltä menee asian sisäistämiseen ja hyväksymiseen. Usein mielipide muuttuu ajan kanssa jopa muutosta kannattavaksi.

Muutosten läpiviennissä avainasioita ovat tieto, aika, osallistuminen ja vaikuttaminen. Ihmisille tulee antaa tarpeeksi tietoa erityisesti muutoksen syistä ja sen vaikutuksista. Asian prosessoimiselle tulee antaa aikaa ja liian suurta määrää muutoksia ei tulisi viedä läpi

kovin lyhyessä ajassa. Lisäksi asianomaisten tulisi saada osallistua prosessiin jo valmisteluvaiheessa ja näin vaikuttaa tyydyttävän lopputulokseen saavuttamiseen.

ATS:n uudistuminen ja erityisesti sääntömuutos on herättänyt viimeaikoina keskustelua. Lanseeraamme tässä lehdessä uuden avoimen palstan, jolla lukijamme voivat esittää mielipiteitään tai näkemyksiään ajankohdaisiin asioihin. Ehkä tämä palsta voi osaltaan edesauttaa myös muutosprosessiin osallistumisessa, kuten tässä numerossa. Sana on siis teidän!

Olen nyt toiminut ATS Ydintekniikan vastaavana päätoimittajana yhden vuosikerran verran, jonka aikana lehti on muuttunut merkittävästi. Olemme kuitenkin mielestäni onnistuneet lehden kehittämisessä sekä ulkoisesti että sisällöllisesti. Mitä parempaa lehteä me



teemme, sen helpommaksi sen tekeminen myös muodostuu. Kun tekniset asiat, kuten ilmestymisaikataulu ja laadukas visuaalinen ilme, ovat kunnossa, me myös saamme yhä laadukkaampaa sisältöä. Uskon, että kirjoitus ATS Ydintekniikassa nähdään jo meriittinä eikä velvoitteena. Henkilökohtaisesti olen ylpeä siitä mitä olemme saaneet aikaan.

**Anna Nieminen**

Vastaava päätoimittaja

## SISÄLTÖ

### Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Muutoksista.....	3
Pääkirjoitus: Näkökulmia jätehuoltoon.....	4
Editorial: Long term focus to waste management.....	5
Lukijoilta: ATS:n sääntöjen muuttaminen.....	19
Pakina:Ydinjätehauta – uhka tulevaisuudelle .....	35

### Tapahumat

26. Ydinturvallisuusseminaarissa keskusteltiin ydinenergialain- säädännön kehitystarpeista .....	6
Syysseminaari: Suuret hankkeet ja ydinvoiman kannattavuus.....	7
Ydinalan eurooppalaisten nuorten kattojärjestö kokoontui Helsingissä .....	10

### Ajankohtaista

The long and winding road – kokemuksia Posivan rakentamis- lupaprosessin ajoilta.....	12
Takana haasteelliset vuosihuollot.....	16
Ohjeita artikkelien kirjoittamiseen.....	20

### Tiede ja tekniikka

KYT2014-tutkimusohjelma on päättynyt – keskeisimmät tulokset.....	22
<i>TkT Kari Rasilainen, DI Aku Itälä</i>	
Ydinjätekapsoolin kuparivaippa: kestääkö, syökö korroosio, murtaako vety?.....	25
<i>DI Juhani Rantala, TkT Hannu Hänninen, TkT Jari Aromaa, TkT Leena Carpén, DI Pauliina Rajala</i>	
Bentoniitin ominaisuuksien arviointi käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoi- tusta varten.....	28
<i>FT Markus Olin</i>	

### Diplomityö:

Radioaktiivisen päästön ennustaminen valmiustilanteessa.....	32
<i>DI Thomas Lehtomäki</i>	

### Diplomityö:

Ydinvoiman rooli tulevaisuuden energiajärjestelmässä.....	33
<i>DI Jarkko Ahokas</i>	

## ATS:N UUDET JÄSENET

### Vakinaiset jäsenet:

Karoliina Ekström, Fortum  
Antti Rahkonen, Fortum

### Opiskelijajäsenet:

Ville Pitkänen, LUT  
Pyy Savolainen, LUT  
Leo Kaartinen, LUT

## Näkökulmia jätehuoltoon

**TÄSSÄ VAIHEESSA** – uuden vuoden käynnistyessä – on perusteltua vilkaista taaksepäin ja arvioida mennyttä vuotta. Vuoden 2015 merkittäviä aikaansaannoksia jätehuollossa on kiistatta käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamislupa. Sen lisäksi Suomi toimitti määräaikaan mennessä EU:n komissiolle ns. jätedirektiivin edellyttämän ydinjätehuollon kansallisen ohjelman ja kertomuksen jätehuollon toimenpiteistä. Molemmat edellä mainitut ovat ennen kaikkea pitkäjänteistä työtä vaatineita saavutuksia, mutta sen ohella merkittävää on myös, että ne ovat toteutukseen ajallaan ja laadukkaina edellyttäneet useiden osapuolten välistä vuorovaikutusta ja jopa yhteistyötä.

Marraskuun alkupuolella eduskunta keskusteli käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen teknisestä kehityksestä ja turvallisuudesta. Keskustelun kuluessa kävi selvästi ilmi, kuten periaatepäätöstä puntaroidessa vuosituhannen vaihteessa, että ydinjätehuolto on mitä suurimmassa määrin tekniikkaa ja luonnontiedettä. Vuonna 2015 puheissa esiintyivät edelleen mm. vaihtoehtoiset jätehuollon menetelmät, polttoaineen palautettavuus ja luonnonolojen merkitys pitkäaikaisturvallisuuden kannalta vain muutamia mainitakseni. Tosiasia myös on, että ydinjätehuoltoon liitetään muitakin näkökulmia kuten esimerkiksi toteutuksesta aiheutuvat taloudelliset vaikutukset.

Ydinjätehuollolla on suhteellisen pitkä historia yksittäisen ihmisen näkökulmasta käsin tarkasteltuna. Lähes neljäkymmentä vuotta sitten Suomessa linjattiin, että vastuu ydinjätehuollosta kuuluu ydinvoiman tuotannosta vastaaville tahoille. Matala- ja keskiaktiivinen jäte päätettiin hoitaa kotimaassa. Käytetyn polttoaineen huollossa keskityttiin aluksi etupäässä ulkomaisiin palveluihin, mutta hieman

myöhemmin ne korvattiin kotimaisilla suunnitelmilla. Vuonna 2015 otettiin merkittävä askel kohti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta.

Rakentamislupa on osa pitkää lupien muodostamaa ketjua. Ensimmäisenä ketjun osana on periaatepäätös, ja ensimmäinen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta koskeva periaatepäätös tehtiin vuonna 2000. Periaatepäätös on yksi perusta rakentamislualle. Rakentamislupa voi luonnollisesti perustaa vain jo tehdyille periaatepäätöksille. Siten se ei voi olla erilainen kuin aikaisemmat periaatepäätökset.

Marraskuussa vuonna 2015 tehty Posivan rakentamislupapäätös on sinänsä itsessään merkittävä. Se on ensimmäinen jätehuollon laitokselle myönnetty rakentamislupa Suomessa. Sen laatimisessa on toki hyödynnetty niitä kokemuksia, joita saatiin Olkiluoto 3 -yksikön rakentamislupamenettelyssä. Sillä on myös erityispiirteet kuten lupaehdot, joilla määritetään rakennettava ydinlaitos ja siihen liittyvät dokumentointivaatimukset.

Ympäristövaikutusten arviointi ja seuranta ovat olennainen osa ydinjätehuoltoa. Ensimmäisen kerran käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen ympäristövaikutukset arvioitiin 1990-luvun loppupuolella. Ympäristövaikutukset arvioitiin laajasti verrattuna sen aikaisiin käytäntöihin ja samalla pidettiin tärkeänä monipuolista vuorovaikutusta ymmärryksen ja tunnettuuden lisäämiseksi sekä kattavan arvioinnin toteuttamiseksi. Tuolloin tehdyn ympäristövaikutusten arvioinnin riittävyys punnittiin kyseinä ajankohtana mutta niiden huomioon ottaminen punnittiin myös rakentamislupamenettelyn yhteydessä vuonna 2015.

Rakentamislupa on osoitus myös jätehuollon merkityksestä ja siihen liitettävistä merkityksistä. Yksi osa käsittelyä on ollut ratkaisun hyväksyttävyyden. Jätehuollon hyväksyttävyyden ei



ole itsestään selvyyden vaan se on saavutettu määrätietoisella ja huolellisella työllä erilaiset vaatimukset huomioon ottaen.

Kaiken kaikkiaan vuosi 2015 oli hieno jätehuollon edistymisen kannalta. Marraskuussa päättyi suhteellisen pitkä lupahakemuksen käsittelyaika. Pitkä käsittelyaika sopii toki pitkäkestoisiin hankkeisiin, mutta se asettaa myös haasteita esimerkiksi tiedon ajan tasalla pitämiseksi. Käytössä olevat menettelyt osoittivat vahvuutensa tämän kaltaisten haasteiden kohtaamisessa. Tärkeitä ovat myös epäviralliset foorumit, joilla jätehuollon ymmärtämistä voidaan ylläpitää ja kehittää sekä hahmottaa omaa työtä osana jätehuollon kokonaisuutta. Niitä hyödyksi käyttämällä ja kehittämällä pystymme jatkamaan jätehuollon toteutuksen alalla eteenpäin, kuten kuvaamme kansallisessa ohjelmassa ja kertomuksessa.

### FM Jaana Avolahti

Neuvotteleva virkamies, Energiaosasto  
Työ- ja elinkeinoministeriö  
jaana.avolahti@tem.fi

## Long term focus to waste management

**A T THIS POINT** – when the new year is beginning – it is time to glance backwards and evaluate the past year with especially good reasons. The most important achievement in 2015 in waste management is admittedly the construction licence for the final disposal facility of spent nuclear fuel consisting of the encapsulation unit and underground disposal facilities. In addition to this, Finland supplied to the Commission on time a description of the national programme on nuclear waste management and a report of the waste management measures required by the EU commission waste directive. The foregoing achievements required sustained work but it is also notable, that to be fulfilled on time and with high quality, also interaction and co-operation of several parties were needed.

In the first half of November the parliament discussed the technical development and safety of the disposal of spent nuclear fuel. During this discourse it became evident, that nuclear waste management is substantially based on technology and natural sciences, and this was also concluded already in evaluating of the decision in principle in the beginning of the millennium. In 2015 alternative waste management techniques, retrievability of the spent fuel and the importance of natural conditions for the long-term safety were still significant issues in the conversation just to mention a few examples. It is also a fact, that nuclear waste management is linked to several other viewpoints as well, like economy that describes the implementation expenses.

The history of nuclear waste management is relatively long when observed from the perspective of a single person. Nearly 40 years ago in Finland it was stated, that the party responsible for generating nuclear energy, is responsible also for the nuclear waste management. Low- and intermediate-level waste

was decided to be processed and disposed of in Finland. In the management of spent nuclear fuel it was initially focused on services abroad, but few years later this was replaced with domestic plans. In 2015 an important step was taken towards final disposal of spent nuclear fuel.

The construction license is only a part of the long chain of several licenses. The first part of the chain is the decision in principle and the first decision in principle concerning the final disposal of spent nuclear fuel was made in 2000. Decision in principle is one of the foundations of the construction license and of course, the construction license can be founded only on a decision in principle already made, so it cannot be different from the decision in principle decisions made before.

The construction license permitted for Posiva in November 2015 is in itself significant. It is the first construction license granted in Finland for a waste management facility. Of course, experiences on processing the Olkiluoto 3 construction licence were utilized. However, the waste management facility's construction license has special features in the license conditions that define the nuclear facility to be built and requirements for the documentation.

The environmental impact assessment and monitoring of the impacts are essential parts of waste management. Environmental impacts of the disposal of spent nuclear fuel were assessed in the late 1990s. They were assessed broadly compared to the practises of that time. At the same time versatile interaction to increase understanding and awareness was considered important as well in order to execute a comprehensive assessment. The coverage of that environmental impact assessment was evaluated already back then. These arguments were taken into the discussions

of the construction license granting process again in 2015 before the decision.

The construction license reflects also the importance of waste management and meanings related to it. Public acceptance of the solution has also been a part of the process. Acceptability of waste management is not a self-evident issue, but it has been achieved with a determined and thorough work taking into account versatile demands.

All in all year 2015 has been great when it comes to the progress of waste management. In November the relatively long procedure concerning the licence application ended. The procedure is appropriate for complex projects, but it also imposes challenges, for example, to keeping the data up-to-date. Practises in use were proven to be feasible in facing this type of challenges. Also unofficial forums were important in maintaining and updating the understanding related to waste management and in perceiving one's own work as part of the unity of waste management. By utilizing and developing these forums we are able to continue towards the implementation of waste management, as we promise in the national programme and in the report for the nuclear waste management.

### **MA Jaana Avolahti**

Chief Counsellor, Energy Department  
Ministry of Employment and the Economy  
jaana.avolahti@tem.fi



*Vuonna 2010 tehtiin neljä periaatepäätöstä elinkeinoministeri Mauri Pekkarisen johdolla. Ohessa kuva tiedotustilaisuudesta valtioneuvoston istunnon jälkeen 6.5.2010. Vasemmalta ministeri Pekkarinen, esittelijänä toiminut kirjoittaja ja TEM:n kansliapäällikkö Erkki Virtanen. Näiden päätösten jälkeen jouduttiin periaatepäätösten täydennysmenettelyihin vuonna 2014, joiden käsittelyn yhteydessä eduskunnan talousvaliokunta edellytti hallituksen selvittävän ydinenergiainsäädännön kehitystarpeita. Ydinturvallisuusseminaarin paneelikeskustelu totesi, että jonkinlainen ydinenergiain selkeytysprosessi on tarpeen.*

## 26. Ydinturvallisuusseminaarissa keskusteltiin ydinenergiainsäädännön kehitystarpeista

Suomalaisen ydinenergiakentän vuosittaisia kohokohtia on marraskuun päivä, jolloin aamupäivällä pidetään Ydinturvallisuusseminaari ja iltapäivällä ATS:n syysseminaari. Ensin mainittu on kuitenkin monille ATS:n jäsenille tuntematon ja siksi se tässä artikkelissa esitellään.

**Teksti:** Jorma Aurela



**DI Jorma Aurela**

Yli-insinööri, Energiaosasto  
Työ- ja elinkeinoministeriö  
jorma.aurela@tem.fi


**K**ANSALLINEN Ydinturvallisuusseminaari pidettiin torstaina 12.11.2015 jo 26. kerran. Tämän mukaisesti aiemmin Vanhalla Polilla ja myöhemmin Säätytalolla järjestetty Ydinturvallisuusseminaari on ensimmäisen kerran järjestetty jo 1990-luvulla.

Tapahtuman otsikkona oli ”Suomi ydinenergiamyllerryksessä” ja ohjelmassa käytiin läpi kaikki alan suuret kansalliset hankkeet. Tapahtuman lopuksi käytiin paneelikeskustelu aiheesta ”Ydinenergiainsäädännön kehitystarpeet”. Paneeliin osallistui esimerkiksi eduskunnan talousvaliokunnan puheenjohtaja Kaj Turunen ja STUK:n ja voimayhtiöiden vahva edustus. Keskustelun moderaattorina toimi teollisuusneuvos Herkko Pit.

Keskustelun tuloksena oli käsitys, ettei ainakaan nopea ydinenergiain kokonaisuudistus ole tarpeen, mutta jonkinlainen selkeytysprosessi kylläkin. Tässä on esimerkiksi otettava huomioon luvituksessa esiintyneet viimeaikaiset kysymykset, käytöstäpoiston asettamat vaatimukset sekä ydinturvallisuus-

direktiivin täydennyksen 2014 aiheuttamat tarpeet jne.

Nykyisin seminaarin järjestävät vuorovuosin TEM ja STUK. Aiemmin seminaaria kutsuttiin myös neuvottelukuntien seminaariksi, mutta koska TEM:illä ei ole enää nykyisin neuvottelukuntaa, on Ydinturvallisuusseminaari muodostunut tapahtuman nimeksi. STUK:n järjestelyvastuun vuosina ydinturvallisuusneuvottelukunnalla on vahva rooli tapahtuman järjestelyissä. Tämä neuvottelukunta on edelleen se suomalainen lakisääteinen elin, joka käy läpi esimerkiksi STUK:n lausuntoja ydinenergiain mukaisista päätösluopien hakemuksista ja joka voi halutessaan toimia niiden kriittikkona.

Seminaariin kutsutaan TEM:n ja STUK:n sidosryhmiä, kuten muiden ministeriöiden ja valtion virastojen edustajia, ydinenergiatutkimuksen ja teollisuuden vetovastuussa olevia ihmisiä sekä pieni määrä myös alan veteraaneja. Käytännössä seminaariin osallistuu vuosittain 100–140 henkilöä. 

Paneelikeskustelussa pohdittiin, onko ydinvoima kannattavuuskriisissä. Ydinvoiman kustannustietojen tulisi olla avoimempia oikeanlaisen kannattavuuskuvan luomiseksi.



## Syysseminaari: Suuret hankkeet ja ydinvoiman kannattavuus

ATS:n perinteinen syysseminaari kokosi Säätytalolle varsin hyvän osanoton kuuntelemaan esityksiä ajankohtaisista hankkeista sekä paneelikeskustelua ydinvoiman kannattavuuskysymyksestä. Myös ATS on uudistumassa ja kantaa vastuunsa alan mukautumisessa nykyajan haasteisiin – onhan menossa jo seuran 50. toimintavuosi.

**Teksti:** Tuomas Rantala **Kuvat:** Kai Salminen



**DI Tuomas Rantala**  
Johtokunnan jäsen  
ATS  
tuomas.rantala@tvo.fi

**A**TS:N SYYSSEMINAARI järjestettiin jo perinteiseksi osoittautuneella paikallaan Säätytalolla torstaina 12.11.2015. Paikalle oli saapunut 141 seuran jäsentä kuuntelemaan esityksiä ydinvoimatutkimuksesta ja ajankohtaisista hankkeista, seuraamaan paneelikeskustelua ydinvoima-alan tulevaisuudennäkymistä ja vaihtamaan kuulumisia.

Tilaisuuden avasi ATS:n johtokunnan puheenjohtaja Kai Salminen. Tervetuloitovotusten jälkeen ääneen pääsi Aalto-yliopiston Teknillisen fysiikan laitoksen professori Filip Tuomisto, joka esityksensä aluksi onnitteli muutama minuutti aikaisemmin rakennuslu-

van saanutta Posivaa. Esityksessään Tuomisto kertoi ydinenergia-alan tohtorinkoulutuksessa vallitsevista kansallisista ja kansainvälisistä tuulista. Suomen Akatemian vuosille 2012–2015 rahoittama Ydintekniikan ja radiokemian tohtoriohjelma YTERA on tähän mennessä tuottanut yhteensä 14 tohtoria ja lisää on vielä tulossa. Ohjelma on tarjonnut muutamalle yliopistojen ulkopuolella työskentelevälle tutkijalle mahdollisuuden väitöskirjansa viimeistelyyn.

Tuomisto nosti esille TEM:n asettaman Ydinenergia-alan tutkimusstrategia -työryhmän (YES) suosituksen, että alalle on perustettava laaja ja kattava kansallinen tohto-



*Aalto-yliopiston Teknillisen fysiikan laitoksen professori ja ATS:n varapuheenjohtaja Filip Tuomisto oli huolissaan siitä että ydinvoima-alan kattavan kansallinen tohtoriohjelmaverkoston rahoitus jää kokonaan yliopistojen vastuulle.*

riohjelmaverkosto, jonka järjestämisessä ovat avainasemassa yliopistojen, tutkimuslaitosten, viranomaisten ja teollisuuden välinen yhteistyö. Rahoitus on kuitenkin jätetty yliopistojen vastuulle, mistä Tuomisto oli erityisen huolissaan. Vastauksena YES-suositukseen Aalto-yliopisto on jo käynnistänyt verkostoitumishojelman, Doctoral Education Network in Nuclear Science and Technology (NST). NST-ohjelmaan on tähän mennessä sitoutunut 21 professoria Aalto-yliopistosta ja 19 muista Suomen yliopistoista yhteensä. NST-ohjelman puitteissa on tarkoitus tarjota osallistujille parempia mahdollisuuksia myös kansainväliseen verkostoitumiseen alalla, esimerkiksi osallistumiseen European Nuclear Education Network -organisaation (ENEN) ohjelmiin. Aalto-yliopisto on kansainvälisesti merkittävässä roolissa organisoidessaan alan kesäkouluja vuosina 2017 ja 2018.

Iltapäivän toisen esitelmän piti kehityspäällikkö Jussi-Matti Mäki Fortumista. Hän esitteli NURES-teknologiaa (Nuclide Removal System) ja sen menestystä maailmalla. NURESin alkutaival juontaa 1980- ja -90 -lukujen vaihteeseen ja Helsingin yliopiston radiokemian laboratorioon. Nykyisin palveluliiketoimintaa vetää Fortum.

NURES-teknologiaa käytetään radioaktiivisten nesteiden puhdistamiseen. Fortum on käyttänyt teknologiaa Loviisassa jo vuodesta 1991 ja kansainvälisiä referenssejä on saatu vuodesta 1994 alkaen. Fukushima NURES

on ollut käytössä osana ALPS-järjestelmää. Vaikka NURES edustaa markkinoiden korkeinta selektiivisyyttä ja korkeaa pidätyskapasiteettia, haasteeksi on osoittautunut tilaajan tarpeet, sillä puhdistuskapasiteetti on usein loppujätteen minimointia suuremmalla prioriteetilla, eikä kokonaisprosessia optimoida pelkästään NURES-teknologiaa varten. Esityksensä lopuksi Mäki nosti haasteeksi myös projektien pitkät kestot ja monimutkaiset toimitusketjut, sekä paikalliset viranomaismääräykset yhdessä aina huomioitavan ydinvastuun rinnalla. Esitys antoi mielenkiintoisen kuvan suomalaisesta ydinteknologiahankkeesta maailmalla.

Päivän itseoikeutettuna kunniavierana oli yllättäen Posiva, joka riemuitti yhdessä yleisön kanssa juuri saamastaan rakentamisluvasta. Toimitusjohtaja Janne Moka ollessa lehdistön tentattavana Posivan esityksen piti asiakkuuspäällikkö Ari Posti. Hän esitteli Posivan uusitun strategian, jonka missio on turvallisen ja kustannustehokkaan loppusijoituksen toteuttaminen omistajien tarpeisiin. Strategia kulminoituu loppusijoitushankkeeseen, jonka tavoite on loppusijoituksen aloittaminen ja aloituksen jälkeen yhden loppusijoitustunnelin sulkeminen noin vuonna 2025. Posti korosti, että kyseessä on kansainvälisesti kiinnostava, urauurtava, pitkäaikainen, kustannusten kannalta haastava miljardiluokan hanke, joka on samalla myös teknisesti haastava ja ajallisesti pitkä oppimisprosessi.

### ATS uudistuu

Kahvitaun jälkeen ääneen pääsi ATS:n johtokunnan puheenjohtaja Salminen, joka valaisi ATS:n uudistumisen lähtökohtia ja tavoitteita. Seuran perustamisen aikoihin 1960-luvun loppupuolella uranuurtajat ymmärsivät, että seura yhdistäisi teknistieteellisiä ihmisiä ja ydinvoima oli kansallinen kysymys. Tavoitteet, jotka silloin asetettiin, ovat kantaneet näihin päiviin. Toiminta on muuttunut vuosien saatossa hyvin vähän, kun sen sijaan toimintaympäristö on muuttunut.

Salminen alleviivasi, että tarve seuran muutokselle ei synny kriisistä, vaan halusta uudistaa ja etsiä parempaa tasapainotilaa. Hän esitteli lyhyesti uudistuvan seuran kolme peruspilaria (tarkempi esitys löytyy ATS Ydintekniikan numerosta 1/2015 s. 22–24). Nämä ovat ensiksi Teknistieteellinen perusta: seuran toiminta on riippumatonta ja yhteellistä ajattelutapaa kunnioittava; toiseksi Ammatillinen identiteetti: seuran jäsenyys on haluttu ja arvostettu ominaisuus – ATS on kiilta; ja kolmanneksi Yhteiskunnallinen merkitys: seuralla on tunnustettu asema alan ammattiyhteisön kannanesittäjänä. Kolmas peruspilari ei tarkoita, että ATS olisi ydinvoimapolitiittinen toimija tai lobbari, mutta seuran tulee kantaa vastuunsa asiantuntemuksensa ja antaa myös lausuntoja ja kannanottoja yhteiskunnallisesti merkittäviin asioihin. Nämä kolme peruspilaria johtaa ATS:n perusajatukseen. ATS vaalii ja jakaa ydintekniikan ymmärrystä ja yhteistyötä ihmisten ja ihmiskunnan hyväksi.

Esityksensä lopuksi Salminen kiteytti uudistumisen tavoitteen: ”Meillä ei voi olla mitään muuta kelvollista päämäärää kuin että ATS on johtava teknistieteellinen seura Suomessa”.

### Ydinvoima kannattavuuskriisissä?

Seminaarin päätti paneelikeskustelu Ydinvoima-alan kannattavuudesta. Paneelin puheenjohtaja Heikki Raumolin avauspuheenvuorossaan painotti, että keskustelun otsikko on ”Ydinvoima kannattavuuskriisissä?” kysymysmerkillä. Emme siis ole toteamassa, vaan kysymässä. Paneelikeskustelussa kukin osallistuja esitteli yhden näkökulman kannat-



tavuuteen. Tämän jälkeen näkökulmasta keskusteltiin lyhyesti.

Aihe-esittelyt aloitti TEM:n yli-insinööri Jorma Aurela. Hän kertoi lainsäätäjän näkökulman ydinvoiman kannattavuustekijöihin. Ydinenergia-asetuksessa on kirjattu, että periaatepäätöshakemuksessa on esitettävä hankijan taloudelliset toimintaedellytykset ja hankkeen liiketaloudellinen kannattavuus. Näitä ei kuitenkaan perusteellisesti TEM:ssä tutkita, sillä valtio ei osallistu ydinlaitoshankkeiden rahoittamiseen ja aloitteentekijät, eli teolliset yhtiöt, vastaavat hankkeen rahoituksen realistisuudesta. Poikkeuksen tähän teki vuoden 2010 PAP-hakemukset, jolloin TEM palkkasi konsultin selvittämään yhtiöiden rahoitusmahdollisuuksia. Luotettavan tiedon hankkiminen on kuitenkin hyvin vaikeaa. Ydinenergiain uudistustyö ei tule tähän asetelmaan juuri puuttumaan. Laki on jo nykyisellään toimiva, ja muutokset tulevat olemaan hienosäätöä.

Toisena panelistina Westinhausen Customer Account Manager Kim Dahlbacka kertoi ydinvoiman kannattavuuskriisistä Ruotsista. Kansallinen politiikka on alhaisten sähkönhintojen ohella suuri syyllinen ydinvoiman alasajoon. Ruotsin ydinvoimavero on voimayhtiöille haastava, sillä vero riippuu termisestä tehosta, eikä laitoksen alarajo vaikuta veroihin välittömästi. Vero ei laske nollaan ennen laitoksen purkua.

1970-luvulla rakennetut Oskarshamnin ja Ringhalsin laitokset on päätetty sulkea ennen vuotta 2020. Jos käyttöä olisi haluttu jatkaa vuode 2020 jälkeen, laitoksiin olisi vaadittu huomattava määrä uudistustöitä. Suljettavat laitokset ovat kuitenkin tähän päivään asti tuottaneet sähköä melko tasaisesti. Dahlbackan esitykseen luontevana jatkona Olli Kymäläinen Fortumista esitteli suorana Ruotsin sähkömarkkinoiden hintakehitystä. Sähkön markkinahinta on aivan liian alhainen kiinnostaakseen energiasektorin sijoittajia.

Kolmas panelisti, Fennovoiman ydinturvallisuusjohtaja Vesa Ruuska kertoi, miten referenssilaitoksen (Leningrad II-1) sovittaminen Suomen olosuhteisiin tulee onnistumaan. Hanhikivien 1:n tärkeimmät erot referenssilaitokseen ovat passiivisten hätäjäähdytysjärjestelmien laaja käyttö, sydänsieppari,



*Valtioneuvosto myönsi Posivalle ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamisluvan Syysseminaarin alkamisen aikaan. Posivan asiakkuuspäällikkö Ari Posti esitteli Posivan uusitun strategian, joka kulminoituu loppusijoitukseen.*

ohjelmoitava automaatio sekä suuren matkustajalentokoneen törmäyksen kestävä suojarakennus. Vaikka haasteita, kuten kulttuuristen erojen ymmärtäminen, riittää, hankintasopimus on suomalaisiin viranomaisvaatimuksiin velvoittava ja kelpoistus tehdään suomalaisten menettelyjen mukaisesti.

Ruuskan jälkeen Olli Kymäläinen jatkoi omalla esityksellään. Hän esitteli uusien ydinvoimalaitosten kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä. Yleinen uskomus on ollut, että tehon kasvaessa yksikköhinta pienenee. Uudet laitostyytit, erityisesti SMR:t, joita on merkittävästi yksinkertaistettu, pyrkivät haastamaan lain. Kymäläinen selosti myös standardilaitoksen etuja. OECD selvitti vuosituhanen vaihteessa First-of-a-Kind-laitoksen kuluja suhteessa standardilaitokseen. Uudentyyppinen laitos on 15–50 % kalliimpi kuin standardoitunut laitos. Edelleen kustannussäästöä saavutetaan, jos samalle laitosalueelle rakennetaan useita laitoksia. Jo OECD:n tutkimusta tehtäessä kysyttiin kenen tulisi maksaa kehitystyön kulut. Laitostoimittaja mielellään maksattaisi kaikki kulut ensimmäisellä ostajalla – varsinkin, kun jatkotoimitukset eivät usein alkuvaiheessa ole vielä varmalla pohjalla. Standardilaitoksien edut on tunnustettu ja työtä vaatimusten harmonisointiin tehdään lukuisilla foorumeilla (IAEA, WENRA, OECD, EUR, URD, WNA, IEC). Edelleen ollaan kuitenkin kaukana siitä, että sama laitoskonsepti kelpaisi sellaisenaan eri Euroopan maissa.

Kymäläinen totesi esityksenä lopuksi, että myös nykyisin käytössä olevissa laitoksissa on mahdollista pienentää ”nuclear”-laadun lisähintaa. Räättälöityjä ratkaisuja erityisesti turvaluokan 3 laitteissa olisi pyrittävä välttämään. TVO:n Sami Jakonen pääsikin tästä luontevasti jatkamaan omaan alustukseensa, jonka aiheena oli ”Haasteet turvallisuusluokiteltujen laitteiden hankinnassa”. Jakosen mukaan ydinvoimalaitoksen kannattavuuteen vaikuttaa paljon laitoksen käyttökerroin ja sähkön markkinahinta, mutta myös hankintojen kustannustasoon on mahdollista vaikuttaa merkittävästi. Hän kertoi elävästi esimerkein turvallisuusluokittelun vaikutuksesta komponenttien hintaan ja esitti muutamia tekijöitä, joilla toimittajan riskitasoa voitaisiin pienentää ja kiinnostusta lisätä, sekä virtaviivaistaa hankintaan liittyviä prosesseja.

Laajojen alustusten jälkeen puheenjohtaja Raumolin nosti esiin kysymyksen ydinvoiman kustannustiedon avoimuudesta. Professori Risto Tarjanteen lähes kymmenen vuotta sitten tehtyjen kannattavuusraporttien jälkeen ei ole julkaistu vastaavanlaisia kustannustutkimuksia, mikä vaje olisi syytä paikata. Julkinen ydinvoiman kannattavuuskuva perustuu tällä hetkellä pääosin mielikuviin. Tämän korjaamisessa ATS voisi ottaa aktiivisemmän roolin, Raumolin kiteyttäen.

Virallisen osuuden jälkeen seminaariyleisö siirtyi jatkamaan seurustelua paljon odotettuun ja perinteiseen iltatilaisuuteen. ☺

# Ydinalan eurooppalaisten nuorten kattojärjestö kokoontui Helsingissä

European Nuclear Society – Young Generation Networkin (ENS-YGN) Core Committee Meeting (CCM) järjestettiin Helsingissä 16.-18.10.2015. Kokouksen yhteydessä järjestettiin myös tekninen vierailu Olkiluotoon.

**Teksti:** Mikko Pihlanko ja Laura Noukka **Kuvat:** Henri Ormus

**E**NS-YGN on osa eurooppalaista ydinalan yhteistyöjärjestöä ENS:a. ENS:n nuorille suunnatun YGN-toiminnan tavoitteena on toimia Euroopan laajuisena yhdyssiteenä kansallisten ydinalan järjestöjen nuortentoimikuntien kesken, edistää tiedonsiirtoa eri sukupolvien ja maiden välillä sekä kannustaa ydinalan nuoria tulevaisuuden asiantuntijoiksi.

ENS-YGN:n jäsenenä ovat varsinaisesti kansalliset YG:t. Kukin kansallinen YG-järjestö valitsee edustajansa kolme kertaa vuodessa kokoon-tuvaan CCM:iin, joka on ikään kuin johtokunnan kokous. Edustajien keskuudesta valitaan puheenjohtaja ja varapuheenjohtaja kahdeksi vuodeksi kerrallaan. CCM-kokousten johtamisen lisäksi puheenjohtajat edustavat YGN:ä vuosittain useissa erilaisissa ydinalan tapahtumissa.



CCM-kokous kestää yleensä 2–3 päivää, joista ensimmäisenä päivänä on tekninen vierailu paikalliseen ydinalan kohteeseen, toisena päivänä on varsinainen kokous ja kolmantena päivänä on epävirallista ohjelmaa ennen kotiinpaluuta. Kokousten järjestelyvastuu kiertää eri maissa ja koska viimekertaisesta Suomen kokouksesta oli vierähtänyt jo tovi, oli nyt meidän vuoromme järjestää kokous. Kokouksen valmistelu aloitettiin hyvissä ajoin jo touku-kuussa, joten teknisen vierailun ohjelma ja kokouksen vaatimat käytännön järjestelyt ehdittiin valmistella huolella.

## Tekninen vierailu

Alusta asti oli selvää, että perjantain tekninen vierailu järjestetään Olkiluotoon. Vierailun teemoina olivat kansainvälisestäkin näkyvyyttä saaneet OL3 ja käytetyn polttoaineen loppusijoitus. Vierailu alkoi vierailukeskuksessa Anne Niemen pitämällä esityksillä TVO:sta, Olkiluodon laitoksista sekä Posivan loppusijoituskonseptista. Esitykset saivat innostuneen vastaanoton ja yleisö esitti haastavia kysymyksiä. Loppusijoituskonseptiin liittyen kysyttiin muun muassa rannikon eroosion vaikutuksesta loppusijoituksen turvallisuudelle. Suomessa



**DI Mikko Pihlanko**  
ATS YG -yhdyshenkilö  
Fortum  
mikko.pihlanko@fortum.com



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



*Yhdeksän eri maan sekä WANOn ja IYNC:n edustajat kommunikaatio-workshopissa.*

rannikon eroosio ei kuitenkaan ole ongelma maankohoamisen vuoksi.

Luentojen jälkeen seurasi päivän odotetuim tapahtuma, vierailu OL3:n reaktorilaitokselle sekä VLJ-luolaan. OL3 oli erittäin vaikuttava ilmestys ja esimerkiksi höyrystymien massiiviset turkirakenteet herättivät kunnioitusta. VLJ-luolassa tutustuttiin matala- ja keskiak-

tiivisen jätteen loppusijoitukseen sekä käytetyn polttoaineen loppusijoitusta käsittelevään Onkalo-näyttelyyn. Onkalo-näyttelyssä päästiin näkemään millaista tutkimusta Olkiluodon kallioperästä on tehty ja millaisia leviämisseiteitä on suunniteltu radioaktiivisten aineiden leviämisen hallitsemiseksi loppusijoitustiloissa.

*Teknisen vierailun yhteydessä Olkiluodossa päästiin tutustumaan VLJ-luolassa matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitukseen.*



Yhtenä leviämisseiteenä käytettävään bentoniittisaveen pääsi tutustumaan käytännössä puristamalla bentoniitista matkamuistoksi pienen bentoniittipelletin pelletinpuristuslaitteella.

### **CCM-kokouksen saldoa**

Varsinainen lauantain CCM-kokous pidettiin Helsingissä. Kokouksen asialistalla on aina vähintään kunkin kansallisen YG-järjestön menneet ja tulevat tapahtumat sekä puheenjohtajan raportti tapahtumista, joissa hän on ollut edustamassa YGN:ää. Lisäksi asialistalla on joukko muita ajankohtaisia asioita. Tällä kertaa kokouksessa käytiin keskustelua erityisesti ENS:n taloudellisista vaikeuksista sekä ENYGF ja IYNC -konferensseista. ENS:n tiukentunut taloudellinen tilanne on vaikuttanut myös YGN:n rahoitukseen ja on riskinä, että kaikkia suunniteltuja ja ENS:n edellyttämiä tehtäviä ei pystytä toteuttamaan ilman lisärahoitusta.

Kesän ENYGF-konferenssi (European Nuclear Young Generation Forum) Pariisissa sujui hyvin ja sen järjestelyistä saatuja oppeja hyödynnetään seuraavan vuonna 2017 Manchesterissa järjestettävän ENYGF-konferenssin suunnittelussa. Vuoden 2016 IYNC-konferenssi (International Youth Nuclear Congress) pidetään Kiinassa, Hangzoussa ja YGN päätti jakaa apurahoja konferenssin rekisteröintimaksuun tai matkakuluihin Euroopasta konferenssiin osallistuville.

Kokouksen jälkeen oli vielä varattu kaksi tuntia kommunikaatio-workshopille. TVO:n viestintäpäällikkö Pasi Tuohimaa oli kutsuttu pitämään alustuspuheenvuoro aiheena ”Miten kommunikoida ydinvoimasta medialle?”. Tärkeimpinä kohtina nousivat esiin, että halutut viestit tulee olla etukäteen mietitty, niiden määrän tulee olla rajattu 2–3 aiheeseen ja viesti pitää tuoda esiin lyhyesti ja ytimekkäästi. Alustuksen jälkeen mietimme yhdessä, mitkä ovat tärkeimmät viestit Nuclear for Climate -julistukseen liittyen ja miten ne pystytään kommunikoimaan lyhyesti ja selkeästi.



# The long and winding road

## – kokemuksia Posivan rakentamislupaprosessin ajoilta

Rakentamisluvan myöntäminen Posivalle 12.11.2015 oli osoitus kansainvälisestäkin harvinaisen, pitkäjänteisen ja määrätietoisen ydinjätepolitiikan harjoittamisesta, josta voimme olla ylpeitä. Posivan saamaa rakentamislupaa voidaan pitää tärkeänä askeleena vastuullisessa ydinenergian käytössä Suomessa. Mutta menikö Posivalla kaikki niin kuin Strömsössä?



**FM, insinööri Samu Myllymaa**

Lisensiointi-insinööri

SRA Ydinturvallisuuden arviointi, TVO/Posiva

samu.myllymaa@tvo.fi

**Teksti:** Samu Myllymaa **Kuvat:** Posiva Oy

### Historian havinaa

Ensimmäiset askelmerkit vastuullisesta käytetyn ydinpolttoaineen ydinjätehuollosta Suomessa otettiin vain muutama kuukausi sen jälkeen, kun tämän tekstin kirjoittaja oli syntynyt. Vuoden 1978 huhtikuussa annettiin valtioneuvoston päätös "...tarpeellisiin toimenpiteisiin ryhtymisestä ydinjätehuollon järjestämiseksi Suomessa. Jätteen tuottajilla on huolenpito- ja kustannusvastuu jätteestä loppusijoitukseen saakka ja niiden on kerättävä jätehuollon vaatimat varat hyötykäytön

aikana...". Tavoitteita täsmennettiin vuonna 1983 valtioneuvoston päätöksellä, jonka mukaan "Käytetyn polttoaineen huollossa olisi pyrittävä kansainvälisiin, keskitettyihin loppusijoitusratkaisuihin, joissa jälleenkäsittelyjätteet tai käytetty polttoaine voidaan sijoittaa peruuttamattomasti ulkomaille. Luvanhaltijoiden on varauduttava Suomessa tapahtuvaan loppusijoittamiseen sen käytetyn polttoaineen osalta, jolle tällaisia sopimusjärjestelyjä ei ole tehty. Varautumisessa Suomessa mahdollisesti tapahtuvaan loppusijoittamiseen on pidettä-

*Rouhijalla ollaan tasattu demotunnelin lattiaa, loppusijoittamisen etenemistä ollaan Suomessa tasattu kauaskantoisilla päätöksillä ja lupamnettelyillä.*

vä suunnittelulähtökohtana, että reaktorista poisottamisen jälkeen käytetty polttoainetta välivarastoidaan, kunnes noin vuodesta 2020 lähtien voidaan aloittaa sen loppusijoittaminen.” Selvityksiä siis tuli laatia mahdollisesta kotimaisesta vaihtoehdosta ja niitä tehtiin ydinvoimayhtiöiden ja tutkimuslaitosten toimesta. Kansainvälisiä ratkaisuja ei syntynyt, vaan syntyi Posiva Oy, joka loppusijoituksen suomalaisena toimijana on jo 20 vuotta hoitanut omistajiensa asettamaa tehtävää huolehtia käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoittamisesta suomalaisen kallioperään. Niitä, joita aihe kiinnostaa enemmän, suosittelen luettavaksi ”Kohti turvallista loppusijoitusta – Ydinjätehuollon neljä vuosikymmentä”-kirjan, jossa ydinjätehuollon historiaa käsitellään kattavasti ja seikkaperäisesti.

Posivalle oli näin asetettu pitkän tähtäimen suunnitelma jatavoite, joka vielä tänään on saavuttamatta, mutta joka nyt on yhtä isoa askelta lähempänä. Posivalle myönnettiin 12.11.2015 rakentamislupa periaatepäätöksiensä mukaisesti rakentaa käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitos enintään 6500 tonnia uraania vastaavalle määrälle sekä loppusijoitus-tila edellä mainitun laitoksen toiminnasta syntyvälle käyttö- ja käytöstäpoistojätteelle.

Rakentamislupahakemus jätettiin lopulta vuoden 2012 lopussa, kuten Posivan periaatepäätösten jälkeen oli kauppa- ja teollisuusministeriön (nyk. työ- ja elinkeinoministeriö, TEM) päätöksellä vuonna 2003 määrääjäksi asetettu. Määräaikaa oli lykätty kahdella vuodella vuodesta 2010 eteenpäin ja sille oli asetettu ehdoksi, että vuonna 2009 Posivan tulisi toimittaa alustavan rakennuslupahakemuksen selvitykset (ns. esiluvitusaineisto). Posivan rakentamislupahakemusta alettiin siis hahmotella ja laatia jo edellisellä vuosikymmenellä. Hieman aiemmin Säteilyturvakeskus (STUK) oli aloittanut YVL-ohjeudistuksensa, jolla tulisi olemaan merkitystä myös Posivan rakentamislupahakemuksen laatimiselle ja käsittelemiselle.

Posiva toimitti alustavan rakentamislupahakemuksensa ja -aineistonsa TEM:ille ja STUKille vuoden 2009 syksyllä. Noin vuotta myöhemmin STUK antoi lupahakemuksensa TEMille lausuntonsa, jossa todettiin että ”...Posiva on pääosin tunnistanut ja ymmärtä-

nyt turvallisuuden osoittamiseen liittyvät vaatimukset”. Kesällä 2011 STUK toimitti Posivalle turvallisuusarvion luonnoksen Posivan esiluvitusaineistosta. Posiva laati vastineensa luonnokseen ja otti havainnot huomioon varsinaisen rakentamislupahakemuksen ja -aineiston laatimisessa. Tällä välin YVL-ohjeudistus oli STUKissa edennyt ja Posiva pyysi ja sai STUKilta päätöksen, jonka mukaan Posiva sai käyttää YVL-ohjeiden pitkälle edistyneitä luonnosversioita rakentamislupa-aineistonsa vaatimusperustana. Uudistuvien YVL-ohjeiden versiot aiheuttivat muutoksia ja hankaluuksia, kun selvitusten laatimiselle, mutta Posivan tuolloisen turvallisuuspäällikön sanat ovat jääneet mieleeni, ne muistaakseni menivät jotenkin näin: ”...kyllä se (uudet YVL-ohjeet) kaikki kuitenkin on parempaan turvallisuuteen tähtäävää, kun otetaan nämä muutokset (heti) huomioon.”

### Hakemuksen laatiminen

Rakentamislupahakemuksen ja lupa-aineiston sisältö perustuu ydinenergia-alan säännösteeseen, myös Posivan ydinjätelaitosten tapauksessa. Poiketen normaalista rakentamislupahakemuksen sisällöstä Posivan tuli liittää hakemukseen ajan tasalle saatettu ympäristövaikutusten arviointi -selvityksen yhteenveto, selvitys loppusijoitetun ydinjätteen palautettavuudesta sekä selvitys käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusten turvallisuudesta.

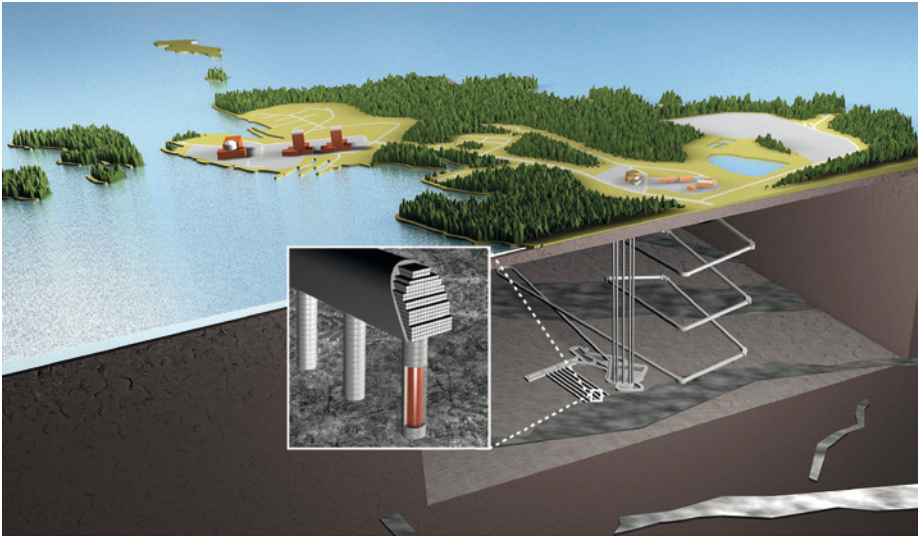
Posivan toimittama rakentamislupa-aineisto sisälsi alustavan turvallisuusselosteen (PSAR), joka koostuu 11-osaisesta yleisestä osasta, 28:sta aihekohtaisesta raportista ja noin 180-osaisesta järjestelmäkuvausten osasta. Ison osan Posivan rakentamislupa-aineistosta muodosti pitkäaikaisturvallisuuden arviointi, turvallisuusperustelu (TURVA-2012), joka koostui kymmenestä pääraportista ja kymmenistä taustaraportista. Turvallisuusperustelun tehtävänä on arvioida Olkiluodolle sijoittuvan KBS-3V loppusijoitusmenetelmään perustuvan loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta jopa satojen tuhansien vuosien ajalle. Lisäksi toimitettiin erillisiä selvityksiä turva-, valmius- ja ydinmateriaalivalvonnan järjestelyistä,



ehdotus luokitusasiakirjaksi, laitosprojektin projektinhallinta-asiakirjoja, selvitykset turvallisuuskulttuurista ja rakentamisen laadunhallinnasta ja suunnitteluvaiheen todennäköisyysperustainen riskianalyysi (PRA). Sen aikaisista YVL-ohjeiden luonnoksista toimitettiin täyttymisarviot, myöhemmin toimitettiin uudistuneen YVL-ohjeiston mukaiset uudet vaatimuskohtaiset täyttymis- ja soveltumisarviot.

Rakentamislupa-aineistojen laatiminen joiltain osin aloitettiin ja muilta osin jatkettiin syksyllä 2011 esiluvitusaineistosta saatujen palautteiden mukaisesti. Rakentamislupahakemuksen ja -aineiston laatimisesta ei perustettu projektia. Tämän koettiin myöhemmin olevan parannuskohde sisäisessä auditoinnissa ja kokemusraportin haastatteluissa. Rakentamislupa-aineiston hallinnassa käytettiin projektinhallinnalle tyypillisiä työkaluja kuten osaprojektointia sekä vastuuhenkilöiden ja aikataulujen määrittelyä. Rakentamislupa-aineiston laatimisen etenemistä seurattiin säännöllisesti Posivan johtoryhmässä, joka näin toimi ohjausryhmänä.

Iso osa rakentamislupahakemusaineistosta teetettiin konsulttityönä ja saatu aineisto päivitettiin sekä tarkastettiin sisäisellä työllä vastaamaan rakentamislupahakemusaineiston reunaehtoja. Posivan työtä vaativat erityisesti ne aineiston osat, jotka olivat turvallisuusyksikön vastuulla. Lisäksi sisäistä työtä oli suurelta osin sijoituspaikkaselvitykset ja niiden taustatyö. Laitossuunnittelun ja pitkäaikaisturvallisuuden aineistojen laatimisessa tarvittiin hyvää koordinoitavuutta, sillä niiden laatimisessa



*Havainnekuva loppusijoituslaitoksesta loppusijoituksen aloittamisen aikaan. Loppusijoitus perustuu moninkertaisten vapautumisesteiden käyttämiseen. KBS-3V-moniesteperiaatteeseen kuuluvat loppusijoituskapseli, bentoniittipuskuri, loppusijoitustunnelien täyttö sekä sulkeminen ja kallio.*

käytettiin posivalaisten lisäksi paljon ulkoista työvoimaa. Tärkeimpiä yhteistyökumppaneita olivat mm. TVO, Fortum, VTT, Saanio & Riekkola, B+Tech, Optimik, GTK ja monet muut, joita tässä en kuitenkaan mainitse.

### Hakemuksen käsittelyn aika

Ennen rakentamislupahakemuksen jättämistä myös viranomaiset STUK ja TEM olivat valmistautuneet ja suunnitelleet omaa toimintaansa. Hakemuksen jättämistä edeltävänä aikana olikin hyvin paljon selvitetävää käytännöistä ja linjauksista, joissa Posivan turvallisuuspäälliköllä oli avainrooli. Rakentamislupahakemuksen jättämisen jälkeen TEM aloitti oman prosessinsa, joka alkoi kuulutuksella, jonka mukaisesti Posivan hakemuksesta saattoi jättää 15.2.2013–30.9.2013 välisellä ajalla lausuntonsa. Lisäksi TEM toimitti lausuntopyyntöjä nimetyille tahoille hakemuksesta. Syksyllä järjestettiin avoin keskustelutilaisuus Posivan hakemuksesta Säätytalolla Helsingissä. STUKissa ydinjätteiden loppusijoittaminen ja sitä kautta rakentamisluvan käsittely on vastuutettu STUKissa ydinjätteiden ja ydinmateriaalien valvontaosastolle. STUKissa oli perustettu vuonna 2011 PORA-projekti, joka käsitti rakentamislupa-aineiston tarkastamisen suunnittelun (tarkastusohjelma), käsittelyn ja resursoinnin.

Hakemuksen jättämisen jälkeen Posivassa kiire ei paljoa hellittänyt. Hakemuksen täydentämistä jatkettiin pitkäaikaisturvallisuuden raporttien toimittamisella. Ne saatiin toimitet-

tua pääosin kevään 2013 aikana. Samoihin aikoihin STUK teki kattavuustarkastelun, jonka mukaan joidenkin asiakirjojen tarkastus aloitettiin ja joidenkin keskeytettiin. Keskeytettyjen tarkastusten osalta vaadittiin täydennystä ja esimerkiksi järjestelmäkuvausten tarkastus keskeytettiin, kunnes luokitusasiakirja olisi päivitetty. Uudistuneen YVL-ohjeiston määräysten perusteella oli tunnistettu muutamia hakemuksen asiakirjoja, jotka tuli laatia kokonaan uudestaan. STUKin kattavuustarkastus turvallisuusperustelusta oli valmis marraskuussa 2013, jossa pitkäaikaisturvallisuuden arviointi todettiin kattavaksi. Rakentamislupa-aineiston käsittelyn aikana Posiva toimitti lisäksi yli 100 täydentävää selvitystä ja raporttia STUKille arvioitavaksi sekä STUKin selvityspyyntöjen että Posivan omien kehitystarpeiden vuoksi.

Vuoden 2013 lopulla julkaistiin uudistuneet YVL-ohjeet ja Posiva saikin tehdä niistä myös vaatimusten täyttymisen ja soveltuvuusarvionsa kesäkuun 2014 loppuun mennessä. Uudistuneita YVL-ohjeita sovellettiin myös Posivan rakentamislupa-aineiston tarkastamisessa.

STUK antoi TEMille positiivisen turvallisuusarvionsa Posivan rakentamislupa-aineistosta alkuvuodesta 2015. TEM pyysi tämän jälkeen saaduista lausunnoista Posivan vastineet helmikuussa 2015. Tätä vastinetta Posiva täsmensi kaksi kertaa vuoden 2015 aikana TEMin pyynnöstä. Näin saatiin täsmennettyä rakentamislupahakemuksessa esitettyjä aikatauluja ja tavoitteita. Posivan rakentamislupa myönnettiin 12.11.2015.

### Kokemukset ja opit

Vaikutti siis siltä, että Posivan lupaprosessi meni niin kuin Strömsöissä. No, niinhän se meni, hymy oli kasvoilla usein. Paljon oli myös huolehtimista sekä venymistä ja lopuksi suuri helpotus. Posivalla laadittiin vuoden 2015 aikana kokemusraportti rakentamislupahakemusprosessista. Kokemusraportissa haastateltiin pääasiassa Posivan työntekijöitä, jotka olivat vastuussa rakentamislupahakemuksen ja -aineiston tuottamisesta. Mutta myös Posivan tärkeimpiä sidosryhmiä haastateltiin. Haastattelussa toistui samoja asioita, jotka koettiin olleen haastavia ja joissa olisi parantamisen varaa. Välillä tuntui haastatteluja tehdessä, että menikö mikään hyvin? Mutta ”Loppujen lopuksi kaikki isot asiat menivät hyvin. Lupahakemus jätettiin, lupa saatiin ja on tunnistettu seikat riittävän varmuuden saamiseksi konseptin kypsydelle, ennen kuin asiassa edetään.”

Alla on kuvattu haastattelujen kiteytymä. Nämä ovat asioita, joita otetaan huomioon ja parannetaan, ennen kuin Posivalla aloitetaan käyttöluopaprojektia. Alla kursivilla taustoituu, mistä kukin parannusehdotus kumpusi.

► Organisaation muutoksista tulisi tiedottaa kaikkia sidosryhmiä ja kuvata Posivan päätöksenteon taso ja ketjut erityisesti ulkoisille sidosryhmille.

*Posivan rakentamislupahakemukseen valmistautuminen oli ydinenergia-alalla epätavallisen pitkä, jolloin väistämättä Posivan organisaatio sekä vastuuhenkilöt vaihtuivat jonkin verran. Näiden muutosten tiedottaminen ja päätöksenteon ketjujen kuvaaminen olisi tärkeää muistaa tehdä.*

► Vaatimukset ja lähtötiedot, joita vasten laitos luvitetaan, tulee lukita mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Näin asiakirjojen laajuus ja ”scope” saadaan selville ja omien töiden suunnittelu onnistuu paremmin.

*Rakentamislupa-aineiston laatimisen ja käsittelyn aikana YVL-ohjeet uudistuivat, konseptisuunnittelu Posivalla kehittyi ja vaatimustas nousi. Kaikki tämä oli ennakoitavissa, mutta mahdollisimman aikaisin lukitut lähtötiedot ja vaatimukset olivat kaikkien haastateltavien toivelistalla. Jatkoissa Posiva pyrkii saamaan STUKilta palautetta aikaisemmassa vaiheessa tehdyistä valinnoista ja vaatimustasosta.*

## Suomalaisen Ydintekniikan Päivät 2016

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

### Päivien sisältö:

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

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

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

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

► Keskustelua kaikilla tasolla tulisi olla enemmän ja ennakoivasti. Johdon rooliksi koettiin, että se luo yhtenäisen linjan mm. vaatimustasosta ja siitä, mikä turvallisuuden taso olisi riittävä. Muilla tasoilla korostettiin suunnitelmien ja kokouksien merkitystä siinä, miten vaatimukset jalkautetaan suunniteluun ja toteutukseen.

*Kaivattiin rohkeutta määritellä sisäisesti turvallisuuden taso Posivalla ja käydä siitä keskustelua STUKin kanssa. Posivan projektissa, jossa samaan aikaan kehitetään ja tutkitaan, tämä luo haasteita. Jatkossa tiivis keskusteluyhteys ja suunnitelmien läpikäyminen viranomaisen kanssa eri tasoilla auttaa tässä.*

► Luvituksien projektointi tai projektinomaisten työkalujen käyttö koettiin tärkeäksi.

*Vaikka Posivan rakentamislupahakemuksen jättämisen valmistautumiseen käytettiin projektinomaisia menettelyjä, koettiin että selkeänä määriteltynä projektina kokonaisuus olisi paremmin hallittavissa. Posiva on aloittanut käyttöluvan hakemisen projektoinnin.*

► Aikataulut ja resurssit eivät aina kohdanneet aineiston laatimisen aikana. Koettiin että resurssisuunnittelussa (jos sellaista oli) ei ollut otettu huomioon muita työtehtäviä, jotka piti hoitaa samaan aikaan. Yhtiön johdon tulisi jatkossa pyytää asiantuntijoilta realistisia ”bottom up”-arvioita etenemästä ja resursseista.


*Yhtenä vaihtoehtona esitettiin, että Posivan olisi tullut aloittaa aineiston laatiminen heti esiluvitusvaiheen jälkeen, mutta konseptisuunnittelu ei tuolloin ollut vielä tarpeeksi valmista. Vastuuhenkilöillä oli laajoja vastuukenttiä. Niitä olisi ehkä pitänyt pyrkiä jakamaan. Posivassa käyttöön otettu projektointi tuo jatkossa tarkempaa seuranta etenemästä, joka voi auttaa yhtiön johtoa priorisoinnissa.*

► Muutosten ja riippuvuuksien hallintaa tulisi parantaa jatkossa, sillä nyt muutosten hallinta henkilöityi ja oli monta kertaa muistinvaraista.

*Rakentamislupa-aineiston laatimisen aikana lähtötiedot muutuivat useasti. Vastuuhenkilöiden muistikapasiteetin varassa asiasta jotenkuten selviydettiin. Jatkossa Posivan muutosten ja riippuvuuksien hallinta on systemaattisempaa ja jäljitettävämpää.*

Mitä muuta olemme havainneet? Aihekohtaisia raportteja tullaan vanhentamaan järjestelmäsuunnittelun edetessä ja korvata osan näistä. Uusia aihekohtaisia raportteja tullaan laatimaan perustuen omiin ja viranomaisen näkemyksiin. Pitkäaikaisturvallisuuden uuden projektin (TURVA-2020) lopputuote, turvallisuusperustelu, tullee olemaan entisestään jäljitettävämpi ja läpinäkyvämpi uuden formaattinsa ansiosta. Turvallisuusperustelu tarvitsee enenevässä määrin lähtötietoja sijoituspaikasta. Vaatimusten hallintaa tullaan kytkemään mukaan toimintaan entistä vahvemmin. Aikataulut tulee laatia bottom-up-periaatteen mukaisesti, vaikkakin rakentamisluvan hakemiselle oli asetettu takaraja. Aikatauluseuranta tulisi olla mahdollisimman proaktiivista, ei reaktiivista. Konsulttityön ohjausta tulisi parantaa ja vies-

tiä paremmin muutoksista. Organisaation sitoutuneisuus lupa-aineiston laatimiseen on ensisijaisen tärkeää. Viranomaisten kanssa tulee olla jatkuva keskusteluyhteys eri tasoilla. Lisäselvitysten laatimiselle tulisi tehdä ohjeistus. Ja emme ole ehkä muistaneet kiittää kaikkia työhön osallistuneita kiireissämme, kiitos siis tätä kautta!

Näitä oppeja kannamme eteenpäin kohti seuraavaa tavoitetta, käyttöluvaa, jonka pitkän ja mutkaisen tien askelmerkit asetettiin jo liki 40 vuotta sitten. Vaikka haastatteluissa korostui, että Posivan sisällä sitoutuminen rakentamislupahakemuksen laatimiseen oli vahvaa ja venymistä vaadittiin aikataulujen pitämisessä, niin tulevaisuudessa yllä esitetyt parannuskohteet otetaan huomioon mahdollisimman hyvin. Ja varmasti venymistä vaaditaan myös seuraavalla kerralla. 

# Loviisassa takana haasteelliset vuosihuollot

Molemmilla laitosyksiköillä oli tänä vuonna vuorossa lyhin vuosihuoltotyyppi eli polttoaineenvaihtoseisokki.

**Kirjoittajat:** Mika Nopanen ja Samuli Savolainen **Kuvat:** Fortum

**E**NNAKKO- JA MÄÄRÄAIKAIShuoltojen lisäksi vuosihuollon aikana toteutettiin poikkeuksellisesti myös suurehkoja projekteja. Kummallakin laitosyksiköllä uusittiin muun muassa kaksi välitulistinta, tehtiin kuuden höyrystimen pinnanmittausputkistoliityntöjä ja huollettiin neljä primääripiirin pääkiertopumppua. Näiden lisäksi Loviisan ykkösyksiköllä poistettiin reaktorista näyteketju ja vaihdettiin 30 välitankoa. Kakkosyksiköllä uusittiin tuorehöyrylinjojen säteilymittaukset ja vaihdettiin yksi hätädieselin moottori huollettuun. Vuosihuollossa päästiin testaamaan myös alkuvuodesta valmistuneita uusia merivedestä riippumattomia jäädytystorneja.

Tämän tyyppin vuosihuolloissa pituuden määrää seisokin päätyö eli polttoaineen vaihto ja siihen liittyvät toiminnot kuten laitoksen alaja ylösajo koestuksineen sekä reaktorin purku- ja kokoonpanotyöt. Ykkösyksikön vuosihuollon toimintasuunnitelman mukainen suunniteltu kesto oli 18 vrk, joka ylittyi kolmella vuorokaudella generaattorin vetyvuodon korjauksen ja välitulistimien uusinnan haasteellisuuden vuoksi. Kakkosyksikön toimintasuunnitelman mukainen vuosihuollon kesto oli 17 vrk, ja se alitettiin muutamalla tunnilla.

Otaen huomioon kummankin laitoksen töiden haasteellisuuden lopputulokseen pitää olla tyytyväinen. Työt valmistuivat hyvin annettujen pakettiaikojen mukaisesti. Säteilyannokset olivat alhaiset, vaikka tehtiin useita höyrystimiin liittyviä töitä. Reaktorityöt ja niihin liittyvät puhdistustyöt sekä polttoaineen lataus sujuivat ongelmitta. Uuden laitostietojärjestelmän käyttöönotto ei aiheuttanut vuosihuoltoon viiveitä, vaikkakin järjestelmässä ja toiminnoissa havaittiin kehitettävää.

## Hyvällä yhteistyöllä tuloksiin

Vuosihuoltoihin osallistui 500 Fortumin omaa työntekijää sekä 706 ulkopuolista ammattilaista. Hyvä yhteistyö laitoksen väen ja projekteissa työskennelleiden urakoitsijoiden välillä on tärkeää hyvän lopputuloksen saavuttamisen kannalta.

Tänä vuonna panostimme erityisesti aloitus- ja lopetuspalavereihin, jotka mahdollista-



**Mika Nopanen**

Jaospäällikkö, Vuosihuoltosuunnittelu  
Loviisan voimalaitos  
mika.nopanen@fortum.com



**Samuli Savolainen**

Ryhmäpäällikkö, Loviisan  
modernisointihanke, LOMO  
Loviisan voimalaitos  
samuli.savolainen@fortum.com





*Yhden välitulistimen pituus on 13 metriä ja halkaisija 3,5 metriä. Painoa välitulistimella on yli 90 tonnia.*

vat töiden huolellisen valmistelun, turvallisen tekemisen sekä onnistumisiin johtaneista tekijöistä ja havaituista ongelmista oppimisen.

### **Välitulistimien asennukset toteutettiin onnistuneesti**

Loviisan molemmilla laitosyksiköillä suoritettiin vuosihuollon aikana yhden turbiinilinjan välitulistimien uusintatyöt, jotka ovat osa voimalaitoksen modernisointiohjelman. Uudet välitulistimet asennettiin turbiinilinjoille TG1 ja TG4, joissa kummassakin on kaksi rinnakkaista välitulistinta. Välitulistimien tehtävänä on kuivata ja uudelleen tulistaa korkeapaineturbiinilta tuleva kostea höyry niin, että se voidaan johtaa matalapaineturbiinille.

Laitteet toimitti kokonaistoimituksena saksalainen Balcke-Dürr GmbH. Uudet välitulistimet vastaavat ulkomitoiltaan vanhoja välitulistimia, mutta ovat teknikaaltaan edistyneempiä. Parantuneen hyötysuhteen ansiosta sähkötehoa saadaan lisää noin 1,5 MW/turbiinilinja.

### **Haastavat asennukset**

Asennustöiden aikataulu oli haastava ja sisälsi paljon epävarmuustekijöitä. Toimintussopimuksessa asennusajaksi on määritetty 19

vuorokautta, tavoitteena oli kuitenkin saada asennukset suoritettua 17 vuorokaudessa. Aiemppaa kokemusta näin suurten komponenttien nostoista ja siirroista sekä uudelleen asennuksista ei ollut käytettävissä. Haasteena oli myös perustusten kunto, joka lopullisesti selvisi vasta vanhojen välitulistimien poiston jälkeen.

Asennustöissä oli mukana kaikkiaan noin 15 aliuurakoitsijayritystä ja noin 100 henkilöä. Kokonaisuutena välitulistimien asennukset toteutettiin onnistuneesti.

- TG1-turbiinilinjan välitulistimien asennusaika oli 19 vuorokautta ja 18 h. Keskeisinä syinä pitkittyneelle asennusajalle olivat asbestitöiden aiheuttama viivästyminen purkutöiden aloitukselle sekä turbiinille menevien ylivirtausputkien linjaukseen liittyneet ongelmat.
- TG4-turbiinilinjan asennukset veivät 13 vuorokautta ja 13 h. Asennuksissa hyödynnettiin TG1-asennuksessa saatuja kokemuksia.

Välitulistimien modernisointiprojektin tavoitteena on uusia kaikkien neljän höyryturbiinilinjan välitulistimet. Turbiinilinjojen TG2 ja TG3 välitulistimet uusitaan vuosien 2016 ja 2017 vuosihuolloissa.

### **Uudet turvallisuutta vahvistavat jäähdytystornit testissä**

Loviisan voimalaitoksen uusi merivedestä riippumaton jäähdytysjärjestelmä valmistui helmikuussa 2015. Jäähdytysjärjestelmä koostuu niin kutsutuista jäähdytystorneista. Uusi ilmajäähdytteinen järjestelmä vahvistaa entisestään Loviisan voimalaitoksen turvallisuutta epäodennäköisissä ääritapauksissa, joissa laitos ei voisi käyttää lämpönieluna merivettä reaktoreiden jäähdytyksessä. Lopulliset teho- ja takuukokeet suoritettiin hyväksytysti vuosihuolloissa.


Meriveden käytön jäähdytyksessä voisi estää esimerkiksi laaja öljyonnettomuus Suomenlahdella tai poikkeukselliset luonnonilmiöt, kuten tuulen kuljettamat suuret leväesiintymät. Voimalaitoksella on ollut varajärjestelmät merivesijäähdytykselle jo aiemminkin. Uusi ilmajäähdytteinen järjestelmä vahvistaa näitä varajärjestelmiä vielä entisestään.

Uudet ilmajäähdytteiset lämmönsiirtimet, jäähdytystornit, on sijoitettu kolmeen rakennukseen, joilla ei ole vaikutusta laitoksen maihemaan. Rakennukset ovat 10 metriä leveitä ja 15 metriä korkeita. Kummallekin laitosyksikölle on rakennettu kaksi jäähdytystornia. Yhtä tornia käytetään reaktorissa syntyvän jälkilämmön poistoon ja toista polttoainelaitaissa synty-

## AJANKOHTAISTA

*Jäähdytystornit ovat Fortumin suunnittelemia ja ne toimitti unkarilainen GEA EGI Contracting/Engineering Co. Ltd.*

vän jälkilämmön poistoon sekä turvallisuuden kannalta tärkeiden kohteiden jäähdyttämiseen. Reaktorin jälkilämpöä poistavat tornit on sijoitettu samaan rakennukseen.

Ilmajäähdytteisiä järjestelmiä on käytetty aiemminkin muuntyyppisissä voimalaitoksissa, mutta ydinvoimalaitoksessa Loviisaan valmistuneet jäähdytystornit ovat laatuaan ensimmäisiä maailmassa. Ratkaisu on kustannustehokas tapa parantaa merivesijäähdytteisen ydinvoimalaitoksen turvallisuutta edelleen. 



*Thomas Buddas, Loviisan voimalaitoksen apulaisjohtaja*

### **Merkittäviä investointeja ja ratkaisematon tulevaisuus**

**ATS YDINTEKNIIKAN TOIMITUS** esitti Fortumille muutamia kysymyksiä liittyen Loviisan automaatiouudistukseen ja laitosten odotettavissa olevaan elinikään. Kysymyksiin vastasi apulaisjohtaja Thomas Buddas Loviisan voimalaitokselta.

**Loviisan nykylaitosten automaatiouudistusprojekti LARA keskeytettiin viime vuonna, ja sitä korvaamaan tuli Rolls-Royce -vetoinen hanke. Kuinka hyvin uusi projekti on edennyt vanhaan verrattuna?**


Uusi automaatioprojekti on LARAan verrattuna suppeampi. Projekti on edennyt aikataulussa ja ensimmäiset asennukset molemmilla laitossyksiköillä toteutetaan huoltoseisokeissa 2016.

**Automaatiouudistuksen tarkoituksena on varmistaa turvallinen ja luotettava sähköntuotanto Loviisan laitoksilla niiden nykyisten käyttöluopien loppuun asti. Vaikuttaako käyttöluopien umpeutuminen jo nyt investointisuunnitelmiin, ja onko laitosten suunniteltu elinikä pidempi kuin jäljellä olevat käyttöluvut?**

Uudistamme ja kehitämme Loviisan voimalaitosta jatkuvasti osana turvallista, luotet-

tavaa ja kannattavaa sähköntuotantoa – aina voimalaitoksen suunnitellun käyttöiän loppuun saakka. Voimalaitoksella toteutetaan parhaillaan laitoshistorian laajinta, vuoteen 2019 ulottuvaa investointiohjelmaa. Vuonna 2014 investointeihin käytettiin noin 80 miljoonaa euroa.

**Kesällä Fortum kertoi osallistuvansa Fennovoiman Hanhikiven hankkeeseen. Fortum omistaa nyt ainakin osuuden kaikista Suomessa toimivista ja rakenteilla olevista ydinvoimaloista. Onko Loviisa 3 vielä Fortumin tavoitteena jollakin aikavälillä vai riittävätkö osaomistukset muista ydinvoimaloista?**

Fortum ei ole tehnyt päätöksiä Loviisan voimalaitoksen jatkon osalta suuntaan tai toiseen. Voimalaitossyksiköiden käyttöluvut päättyvät 2027 ja 2030, joten päätöksentekoon on vielä hyvin aikaa. 

## ATS:n sääntöjen muuttaminen

**E**MME KANNATA sääntöjen muuttamista nykytilanteessa. Näkemyksemme pohjautuu toisaalta siihen, että muutokselle ei ole ilmaantunut tarvetta ulkoisista tai sisäisistä syistä, ja toisaalta siihen, että johtokunnan esittämän Seuran tulevaisuuden strategian toteuttaminen ei edellytä sääntömuutoksia, sillä uusia suuntauksia voidaan sisällyttää tuleviin toimintasuunnitelmiin myös nykyisten, yleisluontoisten sääntöjen puitteissa.

ATS:n sääntöjä on muutettu merkittävimmin vain kahdesti. Vuonna 1990 uusien jäsenen hyväksyminen siirrettiin johtokunnalle. Samaan aikaan ryhdyttiin ottamaan nuoria jäseniä alasta kiinnostuneista korkeakouluopiskelijoista. Vuoden 2009 päivityksessä sääntöihin lisättiin maininta työryhmistä ja ATS Ydintekniikasta. Johtokunnan kokoon tuli joustavuutta ja kaikki johtokunnan jäsenet päätettiin valita vuosittain. Samalla säännöt ajantasaistettiin muutenkin mm. ottamalla huomioon yhdistyslain muutokset.

Edellisestä sääntömuutoksesta on siis kulunut vasta vajaat seitsemän vuotta. Yhdistyslakiin perustuvia muutostarpeita ei ole. Työryhmien nimen muuttaminen toimintaryhmiksi on semanttinen asia, joka voidaan toteuttaa ilman virallista sääntömuutosta. Olennaisempaa onkin hankkia toimintasuunnitelmiin sisällytettävien uusien toimintamuotojen aktiivisia vetäjiä ja koota tueksi näille toimintoille aktiivinen ryhmä, jossa ovat edustettuina mahdollisimman laajasti jäsenistön taustaorganisaatiot. Jäsenmaksunsa laiminlyöneiden jäsenten erottaminen puolestaan on pystytty tekemään tähänkin asti johtokunnan päätöksellä, eikä se vaadi sääntöjen muuttamista.

ATS:n johtokunta on käynnistänyt strategiatyön tarkoituksena linjata Seuran toimintaa pitkälle tulevaan puolivuosisataan. Tarkoituksena on katsoa Seuran tavoitteita, toimintaa ja tekemisen tapoja perinteitä kunnioittaen mutta uutta ja muutoksia pelkäämättä, kuten johtokunta toteaa ATS Ydintekniikassa 1/2015.

ATS:n uudistumisen tavoitteiksi vuoteen 2017 esitettiin seuraavaa: 1. Henkilöjäsenmäärän kaksinkertaistaminen; 2. Kannatusjäsenmäärän kolminkertaistaminen; 3. Tapahtuma-

osallistumisten määrän nelinkertaistaminen vuositasona; 4. ATS:n verkkosivujen vierailujen määrän viisinkertaistaminen ja sivuhakumäärän kymmenkertaistaminen vuositasona; 5. Kiitettävä jäsenyytyväisyyden kouluarvosana; 6. Seuran varainhankintapohjan laajentaminen.

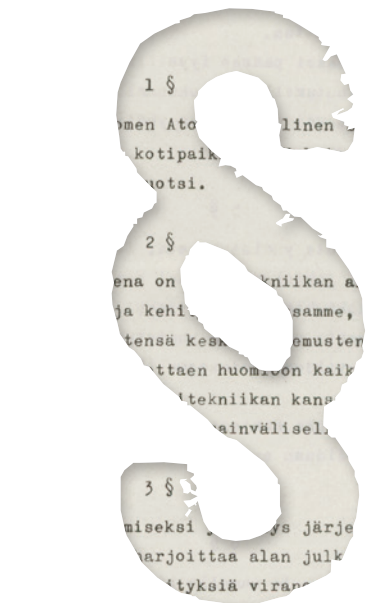
Kaikki nämä tavoitteet ovat erittäin kannattavia ja kohdistuvat Seuran ydintoimintaan. Yksikään niistä ei kuitenkaan edellytä sääntömuutoksia eikä yksikään esitetyistä sääntömuutoksista edistä näitä tavoitteita nykyisiä sääntöjä paremmin. Itse asiassa niiden vaikutus voisi olla tässä mielessä jopa haitallinen.

Ehdotetut sääntömuutokset koskevat toiminnan organisoimista (4 §), uutta jäsenkategoriaa (5 §) ja jäsenmaksunsa laiminlyöneen jäsenen erottamista (6 §). Pykäliin ehdotetaan lisättäväksi otsikot, minkä lisäksi ehdotetaan pieniä teknisluonteisia muutoksia.

Nykyiset säännöt tuntevat työryhmistä vain YG:n. Energiakanava on toiminut vuosikymmeniä ilman, että sen nimen puuttuminen säännöistä olisi haitannut toimintaa. Seniorien osalta voidaan todeta samaa. Itse asiassa nykytilanne on johtanut siihen, että johtokunta voi perustaa uusia työryhmiä oman harkintansa mukaan, mikä on suorastaan toivottavaa. Energiakanavan osittainen riippumattomuus ATS:sta voi tuntua epäkohdalta, mitä se ei meidän mielestämme kuitenkaan ole.

Toimikuntien perustaminen on nykyisin johtokunnan harkintavallassa, emmekä näe mitään syytä rajoittaa sitä sääntöjen kautta. Ehdotettu sääntömuutos merkitsee impliisitesti Seuran toimintaan sellaista sääntöihin kirjattua suuntautumista, joka ei vastaa edellä mainittuja uudistumisen tavoitteita.

Nykyisten sääntöjen puitteissa ATS-Info on vuosikymmeniä menestyksellisesti hoitanut sääntöjen mukaista vaikuttamista tavoitteena ”edistää alan tuntemusta ja kehitystä maassamme”. Sääntöihin sidotut pysyvät toimikunnat saattavat aiheuttaa ristiriitoja Seuran jäsenistössä ja voivat äärimmillään johtaa jäsenten eroamiseen. Erityisesti normitoimikunta merkitsee tunkeutumista alalle, jota Suomessa on menestyksellisesti hoitanut toimivaltainen viranomaislainen. Normikunnan tavoitteiden edistämiseen liittyvä toiminta



tulisi organisoida tapahtuvaksi ATS:n ulkopuolisena toimintana siitä kiinnostuneiden tahojen yhteistyönä.

Uuden jäsenkategorian, ”ansioituneen jäsenen”, perustaminen on lioiteltua ja voi johtaa jäsenmaksutulosten pienentymiseen. Kunniajäseneksi nimittäminen kattaa mahdollisesti esiintyvät tarpeet. Useimmat aktiivisesti Seurassa toimivat tekevät sen työajallaan työnantajansa resursseja käyttäen. Heidän henkilökohtainen palkitsemisensa tämän johdosta ei ole perusteltua.

Kannattavien jäsenten rajoittaminen lähinnä vain ydintekniikan alalla toimiviin on outoa, koska pyrkimyksenä päinvastoin on tällaisten jäsenten määrän kasvattaminen.

Muut ehdotetut muutokset selventävät sääntöjä, mutta eivät vaikuta toimintaan. Sääntöjen itsetarkoituksellinen muuttaminen Seurassa, jolla on kunniakaat puolivuosisaitaiset perinteet, ei ole perusteltua.

1.12.2015

Liisa Heikinheimo, Harriet Kallio, Eero Patrakka, Eija Karita Puska, Heikki Raumolin, Seppo Vuori

Kirjoittajat ovat ATS:n entisiä puheenjohtajia

Keskustelu sääntömuutoksesta jatkuu ATS:n kotisivuilla [www.ats-fns.fi/fi/ats/saantouudistus-2016](http://www.ats-fns.fi/fi/ats/saantouudistus-2016) ja 18.1. järjestettävässä yhdistyksen ylimääräisessä kokouksessa.

# Ohjeita artikkelien kirjoittamiseen

Lehden visuaalinen ilme on kokenut merkittäviä muutoksia vuoden 2015 aikana päätoimittajan ja taittajan vaihduttua. Nyt neljännen numeron ilmestyttyä suurin osa elementeistä on vakiintunut ja on aika päivittää ATS Ydintekniikan kirjoittajaohjeet.

**Teksti:** ATS Ydintekniikan toimitus

**L**EHDEN VISUAALISEN ILMEEN päivityksen lisäksi myös lehden rakenne on selkiytynyt. Uudistuneessa lehdes- sä erilaiset jutut ja artikkelit jaetaan neljään erityyppiseen osioon. Vakiopalstoihin kuuluvat muun muassa pääkirjoitus sekä erilaiset kolumnit ja pakinat. Tapahtumat-osiossa julkaistaan juttuja paitsi ATS:n omista tilaisuuksista myös alan muista mielenkiintoisista tapahtumista. Ajankohtaista-osion artikkelit pureutuvat kullakin hetkellä pinnalla oleviin teemoihin hieman laajemmin ja pintaa syvemmältä. Tiede ja tekniikka -osio puolestaan on ikkuna tutkimuksen maailmaan ydintekniikan alueella. Tähän kuuluvat myös perinteiset opinnäytetöiden esittelyt. Jokaiseen numeroon pyritään saamaan tasapuolisesti tekstejä kaikista osioista.

## Lukijan kiinnostuksen herättäminen ja tekstilliset elementit

Suurin osa ATS Ydintekniikan lukijoista kuten lukijat yleensä selailevat lehtiä käyden läpi vain otsikot ja ingressit; mahdollisesti he lukevat myös väliotsikot ja kuvatekstit. Kaikkien kirjoittajien toiveena on kuitenkin saada teksteilleen mahdollisimman paljon lukijoita. Tämän vuoksi edellä mainitut tekstilliset elementit ovat erityisen tärkeässä asemassa.

Pääotsikon ensisijainen tehtävä on herättää lukijan kiinnostus ja kertoa lukijalle jutun aihe. Ingressi sitten kertoo aiheesta enemmän muutamalla virkkeellä. Tämän kappaleen tarkoituksena on avata jutun sisältöä ja pääajatuksia. Artikkelin johdanto, eli aiheen taustoittaminen, on syytä jättää varsinaisen leipätekstin alkuun. Myös tärkeimmät faktat, jotka tekisi mieli laittaa jo otsikkoon, esitetään vasta ingressissä.

Väliotsikot jakavat tekstiä pienempiin osiin, jotka helpottavat lukijaa jäsentämään juttua. Toki ne toimivat osaltaan myös mielenkiinnon

herättäjänä ja auttavat ihmisiä valitsemaan, minkä osan artikkelista he haluavat lukea tarkemmin. Kuvateksteissä kannattaa välttää itsestäänselvyksiä, eli asioita jotka näkee kuvasta suoraan luettuun artikkelin otsikon. Kuvateksteistä tulee mielenkiintoisia, kun ne antavat lisäinformaatiota. Kuvateksteissä voit käyttää nostoja artikkelista tai sitten lisätä niihin faktoja, jotka eivät tule esiin leipätekstissä.

## Tiede ja tekniikka -osio eroaa taitollisesti

Olet ehkä huomannut, että lehti on pääasiallisesti taitettu kolmipalstaiseksi, mutta Tiede ja tekniikka -osio on kaksipalstainen. Kolmipalstainen lehti koetaan usein helppolukuisemmaksi, mutta kaksipalstaisuus mahdollistaa kaavojen esittämisen. Myös useat tekstilliset elementit erovat tässä osiossa muusta lehdestä.

Ingressi on tieteellisemmissä artikkeleissa ennemminkin abstraktin kaltainen. Abstrakti on ingressiä pidempi tiivistelmä tekstin sisällöstä, jossa voidaan valaista hieman taustaa sekä kuvata käytettyjä menetelmiä ja saatuja tuloksia. ATS Ydintekniikassa kuitenkin pyritään varsinaisia tieteellisiä artikkeleja lyhyempiin abstrakteihin, joten noin 50 sanaa on sopiva pituus. Abstraktit myös käännetään englanniksi tai vastaavasti suomeksi, mikäli itse artikkeli on kirjoitettu englanniksi. Tämä koskee myös opinnäytetöiden esittelyä.

Tiede ja tekniikka -osiossa kuvat numeroidaan ja kuviin tulee viitata tekstissä kuvanumeroa käyttäen. Näissä artikkeleissa myös



Esimerkki pääkirjoituksesta, 8500 merkkiä



Esimerkki perusartikkelista, 5300 merkkiä



Esimerkki Tiede ja tekniikka -artikkelista, 9000 merkkiä

kannattaa käyttää viitteitä vähintään omiin tutkimuksiin. ATS Ydintekniikassa käytössä on numeroviittausjärjestelmä. Hyviä esimerkkejä lähdeluettelon laadintaan löytyy esimerkiksi Aalto-yliopiston sivuilta: [otalib.aalto.fi/fi/ohjeet/oppaat/viitteiden\\_hallinta/](http://otalib.aalto.fi/fi/ohjeet/oppaat/viitteiden_hallinta/) lähdeluettelo.

## Kuvien riittävä laatu ja niiden käyttöoikeudet

Lehteen painettavien kuvien tulisi aina olla mahdollisimman hyvälaatuisia. Tämän varmistamiseksi kuvat tulisi toimittaa aina erillisinä tiedostoina, joiden koon tulisi olla vähintään 1 MB. Ihannetapauksessa kuvien resoluution tulisi olla 300 dpi. Tämä tarkoittaisi kirjoittajaville mielellään jopa 600 x 600 pikseliä, 1 500 x 1 500 kahden palstan kuville ja 2250

x 2250 sivun levyisille kuville. On myös syytä huomioida, että kirjoittajakuvan ei tulisi olla liian tarkasti kasvojen ympärille rajattu.

Muistathan varmistaa, että kuvien tekijänoikeusasiat ovat kunnossa. Toisen ottaman valokuvan käyttö edellyttää lupaa ja yleensä artikkeliin on syytä liittää tieto kuvaajasta. Kannattaa muistaa lisätä kuvaajan tiedot myös itse ottamiinsa valokuviin. Tekijänoikeuslain 25 §:n 1 momentin mukaan kuvia saa käyttää myös ilman kuvaajan lupaa tieteellisenä tai arvostelevana pidettävään esitykseen, mikäli se on julkaistu lain 8 §:n esittämällä tavalla, esim. viemällä internetiin yleisesti nähtäville. Lainakuvan käytöllä pitää siis olla asiayhteyteen liittyvä perustelu ja kuvan lähde täytyy merkitä näkyville.

On myös hyvä muistaa, että erilaisista tilaisuuksista voi julkaista kuvia ilman kuvassa olijoiden lupaa, mikäli kyse on sananvapauden ja tiedonvälityksen piirissä olevasta tavanomaisesta käytöstä. Useat kuvapankit tarjoavat lisäksi kuvia käytettäväksi muihin kuin kaupallisiin tarkoituksiin. Tällaisia löytyy esimerkiksi useiden yritysten kotisivuilta. Lisäksi ATS Ydintekniikalla on pääsy maksulliseen kuvapankkiin, josta löytyy yleisempiä kuvituskuvia tarvittaessa.

## Tekstin sopiva pituus

Artikkelin pituutta pohtiessa tulisi ensisijaisesti kiinnittää huomiota sisältöön. Väkisin ei kannata keksiä lisäsanottavaa ja tiivistämisen

taitoa kannattaa harjoitella. Tyypillisesti tapahtumasta kertova analysoivampi juttu on kaksisivuinen, ajankohtaisartikkeli noin kolme sivua ja tieteellisempi artikkeli vähintään kolmisivuinen. Opinnäytetöistä diplomityön saa varmasti esiteltävä yhdellä sivulla, mutta väitöskirjan sisältöä kannattaa kuvata vähintään kahdella sivulla.


Yllä olevat esimerkkipituudet ovat lehden taitettuja sivuja. Yleisohjeena on, että 1 sivu kirjoitettua tekstiä Wordin oletusasetuksilla ja noin 1,5 kuvaa on 1 sivu taitettuna lehteen. Yhdelle täydelle sivulle saa ilman kuvia noin 7000 merkkiä ja yhden kahden palstan levyisen kuvan kanssa noin 5000 merkkiä väliylönteineen. Otsikot ja ingressit vievät toki tilaa eri tavalla. Esimerkkejä juttupituuksista löytyy enemmän ATS:n kotisivuilta: [www.ats-fns.fi/ats-ydintekniikka](http://www.ats-fns.fi/ats-ydintekniikka).

## Toimituksen työskentely

Lehden lisäksi myös toimituksen rakenne on muuttunut. Vastaava päätoimittaja on toki vastuussa lehdestä kokonaisuutena, mutta hänen apunaan tärkeässä roolissa toimivat erityispäätoimittajat, joita tällä hetkellä on nimetty lehden tieteelliselle - ja ajankohtaiselle sisällölle. Erityispäätoimittajat vastaavat lähtökohtaisesti oman osa-alueensa sisältösuunnittelusta, mutta kokonaisuutta ja numerokohtaista sisältöä hiotaan myös yhteisissä kokouksissa.

Pääsääntöisesti toimitus lähestyy potentiaalisia kirjoittajia juttupyynnöin tietystä aiheesta, mutta otamme ilolla vastaan myös ehdotuksia jäsenistön suunnalta.

Kullekin artikkelille määrätään vastuutoimittaja, joka huolehtii yhteydenpidosta kirjoittajaan. Vastuutoimittaja varmistaa, että artikkelin tekstilliset elementit ovat kunnossa ja että kuvat ovat riittävän hyvälaatuisia. Hän tekee myös artikkelin esieditoinnin, eli tarkistaa ingressin tai abstraktin, väliotsikot, kirjoitusvirheet ja mahdolliset tiivistystarpeet ennen tekstien siirtymistä taittajalle. Artikkelien deadlinesta menee noin kolme viikkoa, ennen kuin lehden ensimmäinen taittoversio on valmis. Tämän jälkeen pidetään toimituksen kokous.

Vasta taiton toisen version valmistuttua ja toimituksen kokouksen kommenttien jälkeen tehdään varsinainen oikoluku. Tässä vaiheessa tarkistetaan vielä uudelleen samat asiat kuin esieditointivaiheessa ja lisäksi varmistetaan, että lukuisat muut yksityiskohdat ovat kunnossa. Vasta oikoluvun yhteydessä korjataan ala- ja yläindeksit, sekä varmistetaan että mahdolliset kaavat ja erikoismerkit ovat mukana. Lehden oikolukuversio toimitetaan myös kirjoittajille tarkastettavaksi. Laadun varmistamiseksi oikoluvun tekee joku muu kuin artikkelin vastuutoimittaja. Oikoluvun alkamisesta menee noin kaksi viikkoa, että lehti on painossa. Kokonaisuudessaan artikkelien deadlinesta kuluu lähes kaksi kuukautta ennen kuin lehti on jäsenistön postilaatikossa. 

## Kirjoittajaohjeet tiivistetysti

**OTSIKOI KIINNOSTAVASTI:** poimi jutun pääasia ja nosta se otsikoksi joka houkuttaa lukijan lukemaan koko tekstin.

**MUISTA INGRESSI:** ingressissä kerrot muutamalla virkkeellä mistä jutussa on kyse.

**... TAI ABSTRAKTI:** (Tiede ja Tekniikka -osiossa) jossa voidaan kertoa hieman taustaa sekä kuvataan käytettyjä menetelmiä ja saatuja tuloksia tiivistetysti (noin 50 sanaa). Abstraktit käännetään myös englanniksi.

**VÄLIOTSIKOITA EI SAA UNOHTAA:** jaa teksti pienempiin paloihin väliotsikoilla, jotka helpottavat lukijaa jäsentämään juttua. Otsikot toisaalta kertovat mistä seuraavassa luvussa on kyse ja toisaalta herättävät mielenkiinnon lukea kyseisen kappaleen.

**TEKSTIN PITUUUS:** yleisohjeena 1 sivu kirjoitettua tekstiä Wordin oletusasetuksilla ja noin 1,5 kuvaa on 1 sivu taitettuna lehteen.

**KUVATEKSTIT HARKITEN:** kuvateksteissä tulisi välttää itsestäänselvyyksiä kuten "Kuvassa on... jotain minkä kuvasta näkee jutun otsikon perusteella suoraan". Lisää kuvateksteihin mielenkiintoista lisäinformaatiota. Tiede ja tekniikka -osiossa kuvat tulee numeroida.

**KUVIEN LAATU:** Kuvien koon tulisi olla vähintään 1 MB luokkaa ja mitä isompana kuva painetaan, sen parempilaatuinen sen tulisi olla. Ihannetapauksessa kuvien resoluutio on 300 dpi. Muista myös kirjoittajakuva.

**KUVIEN TEKIJÄNOIKEUDET:** Toisen ottaman kuvan käyttö edellyttää lupaa ja tiedot kuvaajasta.

**KERRALLA KIRJOITAJATIEDOT KUNTOON:** oppiarvo, nimi, työtehtävä, työnantaja ja sähköpostiosoite.

**+** Juttua elävöittämään voi käyttää myös faktalaatikoita tai tekstinostoja.

# KYT2014-tutkimusohjelma on päättynyt – keskeisimmät tulokset

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2014 on ollut käynnissä vuosina 2011-2014. Keskeiset aihepiirit ovat olleet ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat, ydinjätehuollon turvallisuus ja ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus. Vuonna 2012 tehdyn kansainvälisen arvion mukaan tutkimusohjelma on edennyt tasapainoisesti suhteessa päätavoitteisiinsa.

The Finnish Research Programme on Nuclear Waste Management, KYT2014, took place between 2011 and 2014. Key topics included new and alternative technologies in nuclear waste management, safety research in nuclear waste management, and social science studies related to nuclear waste management. International review in 2012 stated that the programme has made balanced progress towards its main goals.

Kari Rasilainen, Aku Itälä  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2014 päättyi vuonna 2014. Se asettuu paikalleen osaksi julkisten tutkimusohjelmien jatkumoa. Suomessa on ollut koordinoituja julkisia ydinjätehuollon tutkimusohjelmia eri nimillä vuodesta 1989 alkaen. Jatkumon seuraava tutkimusohjelma KYT2018 on ollut toiminnassa vuodesta 2015 lähtien.

## Viranomaisten tutkimusohjelma

KYT2014 perustuu ydinenergialakiin (990/1987), joka korostaa viranomaisten tutkimustarpeita. Tutkimusohjelma onkin ollut viranomaisten tarkassa ohjauksessa. Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) ”omisti” tutkimusohjelman, johtoryhmän puheenjohtaja oli Säteilyturvakeskuksesta (STUK), kahden tukiryhmän puheenjohtajat ovat olleet STUKista ja kolmannen ministeriöstä. Tutkimusohjelman rahoitus on tullut valtion ydinjätehuoltorahaston (VYR) erillisestä tutkimusrahostosta. Sen lisäksi tutkimusorganisaatiot ovat laittaneet hankkeisiinsa omaa rahoitusta. KYT2014-ohjelman kokonaispanostus koko tutkimuskaudella on ollut noin 100 henkilötyövuotta.

## Mukaan kilpailun kautta

Tutkimusohjelman hankkeet ovat osallistuneet vuosittain avoimeen hakumenettelyyn. Hanke-esitysten arviointi on pohjautunut siihen, miten hyvin ne vastaavat tutkimusohjelman puiteohjelmassa ja joh-

toryhmän vuotuisessa evästyksessä esiin tuotuihin tutkimustarpeisiin. Puiteohjelma on voimassa koko tutkimuskauden, joten johtoryhmän evästys antaa mahdollisuuden tuoda hakuun mukaan ajankohtaisia tutkimustarpeita.

Hanke-esitysten arviointikriteerit on julkaistu aina hankehaun kutsukirjeessä. Tutkimushankkeiden arviointikriteerit ovat olleet 1) kohdistuminen ja hyödynnettävyys, 2) verkottuminen ja integroituvuus, 3) koulutusvaikutus ja tieteelliset ansiot, 4) KYT-hankkeissa tai muissa yhteyksissä osoitettu tuloksellisuus ja 5) kustannusten ja työmäärän realistisuus. Tukiryhmät ovat vuosittain toteuttaneet hanke-esitysten sisällöllisen arvioinnin ja sen pohjalta johtoryhmä on laatinut oman rahoitussuosituksensa. TEM on valmistellut virallisen rahoitusesityksen johtoryhmän suosituksen pohjalta ja lopullinen rahoituspäätös on tehty VYR:n johtokunnassa.

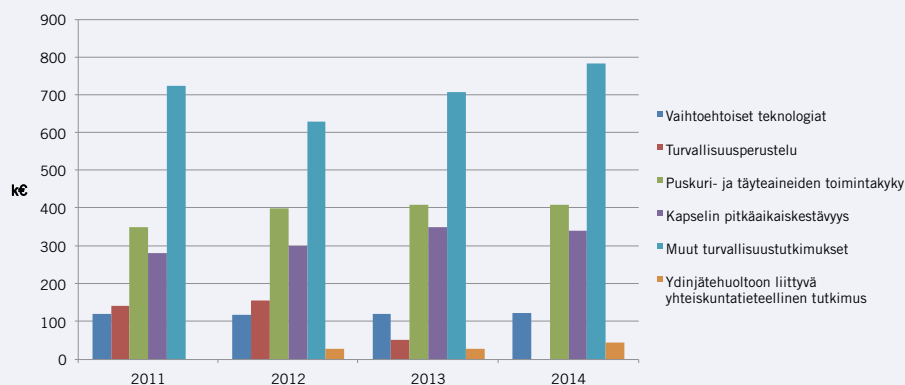
## Tutkimusaiheet

Tutkimusohjelman keskeiset aihepiirit ovat ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat, ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus ja ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus. Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimuksessa on neljä osa-aluetta, jotka ovat turvallisuusperustelu, puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky, kapselin pitkäaikaiskestävyys ja muut turvallisuustutkimukset. Aihepiiri muut turvallisuustutkimukset on kattanut nuklidikulkeutumisen, mikrobiologian, betonin, biosfäärin ja kallioperän.

Tutkimuskaudella 2011–2014 VYR ohjasi rahaa tutkimushankkeisiin yhteensä noin 7 miljoonaa euroa. Vuosittain tutkimukseen käytettiin noin 1,7 miljoonaa euroa. Rahoituksen jakautuminen eri tutkimusaiheiden kesken on esitetty kuvassa 1.

### Määrällisiä tuloksia

Tutkimusohjelman tutkimusprojektit ovat julkaisseet tutkimuskaudella yhteensä 50 arvo-julkaisua (vertaisarvioitua tieteellistä lehtiartikkelia), 174 konferenssijulkaisua tai työraporttia sekä 48 opinnäytetyötä. Julkaisut on jaoteltu aihepiireittäin taulukossa 1. Osa julkaisuista on perustunut osin KYT2014-ohjelmaa edeltävässä KYT2010-ohjelmassa tehtyyn työhön ja vastaavasti osa KYT2014-ohjelmassa tehdystä työstä julkaistaan KYT2014-ohjelmaa seuraavassa KYT2018-ohjelmassa.



Kuva 1. VYR-rahoituksen jakautuminen aihepiireittäin 2011–2014.

Taulukko 1. Julkaisujen ja opinnäytteiden lukumäärät aihepiireittäin 2011–2014.

Aihepiiri	Arvojulkaisut	Konferenssi-julkaisut ja työraportit	Opinnäytteet
Ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat	–	24	10
Turvallisuusperustelu	–	11	2
Puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky	7	28	9
Kapselin pitkäaikaiskestävyys	8	30	4
Muut turvallisuustutkimukset	33	72	23
Ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus	2	9	–
<b>Yhteensä</b>	<b>50</b>	<b>174</b>	<b>48</b>

Yhteensä tutkimuskaudella valmistui kuusi väitöskirjaa, joista yksi aihepiiriin puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky (Jussi-Petteri Suuronen 2014), yksi aihepiiriin kapselin pitkäaikaiskestävyys (Kati Savolainen 2012) ja neljä aihepiiriin muut turvallisuustutkimukset (Nina Huittinen 2013, Olli-Pekka Kari 2015, Päivi Roivainen 2011 ja Mikko Voutilainen 2012). Nina Huittinen ja Mikko Voutilainen tekivät väitöstyönsä nuklidikulkeutumisesta, Olli-Pekka Kari betonitutkimuksesta ja Päivi Roivainen biosfääritutkimuksesta. Väitöstyöt ovat aina pitkäjänteisiä ponnistuksia ja ainakin osa töistä on aloitettu jo ennen KYT2014-ohjelman tutkimuskautta; niissä voi myös olla panostuksia KYT2014-ohjelman ulkopuolelta.

### Muita tuloksia

Tutkimusohjelma järjesti kaksi temaattista seminaaria bentoniittipuskurista (vuosina 2012 ja 2014), yhden turvallisuusperustelusta (vuonna 2012) ja yhden matriisidiffuusiosta (vuonna 2012). Temaattisten seminaarien lisäksi järjestettiin koko tutkimusohjelman aihepiirit kattaneet puoliväliseminaari vuonna 2013 ja loppuseminaari vuonna 2015.

Verrattuna aiempaan KYT2010 tutkimusohjelmaan, KYT2014:n uutena piirteenä olivat koordinoituidut hankkeet. Ne otettiin käyttöön KYT2010-tutkimusohjelman kansainvälisen arvioinnin suositusten

perusteella. Arviointiryhmä oli toivonut laajempia pitkäkestoisia hankkekokonaisuuksia olennaisista tutkimusaiheista, koska KYT2010:n tutkimushankkeet olivat pieniä ja pirstaleisia. Puiteohjelmassa ja johtoryhmän evästyksissä toivottiin koordinoituja hankkeita ydinjätteiden pitkäaikaisturvallisuuden arvioimisen kannalta keskeisiin aihepiireihin: turvallisuusperustelu, puskuri- ja täyteaineiden toimintakyky ja kapselin pitkäaikaiskestävyys. Näihin aihepiireihin myös saatiin usean tutkimusorganisaation yhteistyönä toteutetut useampivuotiset koordinoitua hankkeet. Koordinoitua hankkeessa on nimetty vetäjä, joka vastaa hankkeesta ja jolle on myönnetty rahoitusta koordinoitua työtä varten.

Koordinoitua hankkeet ovat selvästi kiinteytäneet eri tutkimuslaitosten välistä yhteistyötä edellä mainituissa aihepiireissä. Ne ovat myös luoneet pohjaa aiempaa tieteellisesti kunnianhimoisempien tutkimusten suunnitteluun ja tekoon. Sen sijaan KYT2014-hankkeiden pienenä on edelleen leimaa-antava piirre. Tosin laskemalla koordinoitujen hankkeiden osahankkeet yhteen, koordinoitua hankkeet ovat toki KYT-mittakaavassa isoja. Kaikkiaan tutkimushankkeita oli vuositasolla noin 30. Pienten hankkeiden seurauksena KYT2014-ohjelmassa on mukana useita tutkimusorganisaatioita, mitä on osaltaan pidetty kansallisen tutkimusohjelman merkinä.

### Kansainvälinen arvio

Tutkimusohjelman kansainvälinen arviointi toteutettiin 26.11.–30.11.2012. Arviointiryhmä kävi läpi tutkimusohjelman asiakirjoja ja haastatteli tutkimusohjelman johtoryhmän ja tukiryhmän jäseniä ja varajäseniä, muita avainhenkilöitä ja tutkimusprojektien projektipäälliköitä. Tuloksissa esitettiin yleiset johtopäätökset, vastaukset arviointikysymyksiin, haasteet ja suositukset. Perushavainto oli, että tutkimusohjelma on edennyt hyvin suhteessa päätavoitteisiinsa.

Arvioinnista on julkaistu erillinen raportti ministeriön julkaisusarjassa, linkki arviointiraporttiin löytyy KYT2014-ohjelman verkkosivulta (<http://kyt2014.vtt.fi/>). Johtoryhmä kävi arvioinnin tuloksia läpi vuonna 2013 ja jatkoi suositusten sekä tutkimusohjelmassa kertyneiden omien kokemusten pohjalta tutkimusohjelman toimintatapojen kehittämistä. Arvioinnin tulokset käytiin uudestaan järjestelmällisesti läpi kun valmistettiin KYT2018-tutkimusohjelmaa (<http://kyt2018.vtt.fi/>).

---

### Lähteet:

- [1] KYT2014 Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma 2011-2014 Loppuraportti saatavilla: [www.tem.fi/files/44328/TEMjul\\_59\\_2015\\_web\\_19112015.pdf](http://www.tem.fi/files/44328/TEMjul_59_2015_web_19112015.pdf)
- [2] KYT2014 Finnish Research Programme on Nuclear Waste Management 2011-2014 Final Report available at: [www.tem.fi/files/44329/TEMjul\\_60\\_2015\\_web\\_19112015.pdf](http://www.tem.fi/files/44329/TEMjul_60_2015_web_19112015.pdf).

---

### Kirjoittajat:



**TKT Kari Rasilainen**

Tiimipäällikkö, KYT2014-tutkimusohjelman koordinaattori  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
[kari.rasilainen@vtt.fi](mailto:kari.rasilainen@vtt.fi)



**DI Aku Itälä**

Tutkija  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
[aku.itala@vtt.fi](mailto:aku.itala@vtt.fi)



## Ydinjättekapselin kuparivaippa: kestääkö, syökö korroosio, murtaako vety?

Valurautaisen ydinjättekapselin sisäosan ympärillä on vapautumisesteenä 50 mm paksu kuparivaippa. Vapautumisesteistä ensimmäinen on polttoainesauvan suojakuori, bentoniittisavi on kolmas ja kallioperä on neljäs vapautumiseste. Kuparikapselin on kestävä kolme pääasiallista rasiitusta loppusijoituksen aikana: 1) mekaaniset jännitykset ja venymät, jotka aiheutuvat kuparivaipan painuessa kiinni sisäosaan; 2) korroosioilmiöt ja 3) vedyn vaikutus kupariin ja virumiseen.

There is a 50 mm thick copper overpack around the cast iron insert of the nuclear waste canister. The first release barrier in the waste disposal concept is the fuel cladding, the third is the bentonite clay and the fourth barrier is the bedrock. The copper canister has to be able to withstand the three main challenges during the final disposal: 1) mechanical stresses and strains which are caused when the copper overpack is compressed against the insert; 2) corrosion and 3) the effect of hydrogen on copper and creep.

Juhani Rantala<sup>1</sup>, Hannu Hänninen<sup>2</sup>, Jari Aromaa<sup>3</sup>, Leena Carpén<sup>1</sup>, Pauliina Rajala<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

<sup>2</sup>Aalto-yliopiston insinööritieteiden korkeakoulu

<sup>3</sup>Aalto-yliopiston kemiantekniikan korkeakoulu

### Mekaaninen kuormitus

Valurautainen sisäosa on suunniteltu kestävänsä pohjaveden hydrostaattisen paineen (4 MPa), bentoniitin paisuntapaineen (11 MPa) ja oletetun jääkauden aiheuttaman hydrostaattisen paineen (30 MPa) eli yhteensä 45 MPa:n paineen. Sisäosan ja kuparivaipan välissä on noin 1,75 mm:n rako, joka tarvitaan jotta sisäosa voidaan laskea kapselointilaitoksessa kuparivaipan sisään. Hydrostaattinen paine riittää siihen, että kuparivaipan kansi, pohja ja lieriöosa painuvat kiinni sisäosaan, kun paineen aiheuttama puristusjännitys ylittää kuparin myötölujuuden, jolloin kupari plastisoituu. Paineen nousu tapahtuu hitaasti ja vaihtelee eri rei'issä suuresti, ja voi kestää enimmillään jopa tuhansia vuosia. Bentoniitti paisuu kastuessaan, josta aiheutuu ylimääräinen paisuntapaine.

Loppusijoituksen ensimmäisen 10 000 vuoden aikana ydinjätteen synnyttämä lämpö nostaa kapselin lämpötilan yli 90 °C:een, jos bentoniitti pysyy kuivana, ja hieman alle 80 °C:een, kun bentoniitti kostuu ja paisuu, jolloin lämmönsiirto kallioperään tehostuu. Bentoniittisaven tarkoituksena on muodostaa kapselin ympärille tiivis kerros, josta radioaktiiviset aineet eivät pääse läpi, mikäli kapseli menettää suojauskykynsä. Kuparikapselin materiaaliksi oli aluksi suunniteltu puhdasta hapetonta kuparia (OF), mutta sen virumisvenymät olivat pieniä ja virumisominaisuudet olivat huonot korotetussa lämpötilassa verrattuna fosforiseostettuun OFP-kupariin, johon on seostettu noin 50 ppm fosforia. OFP-kupari säilyttää lujuutensa paremmin korotetuissa lämpötiloissa ja

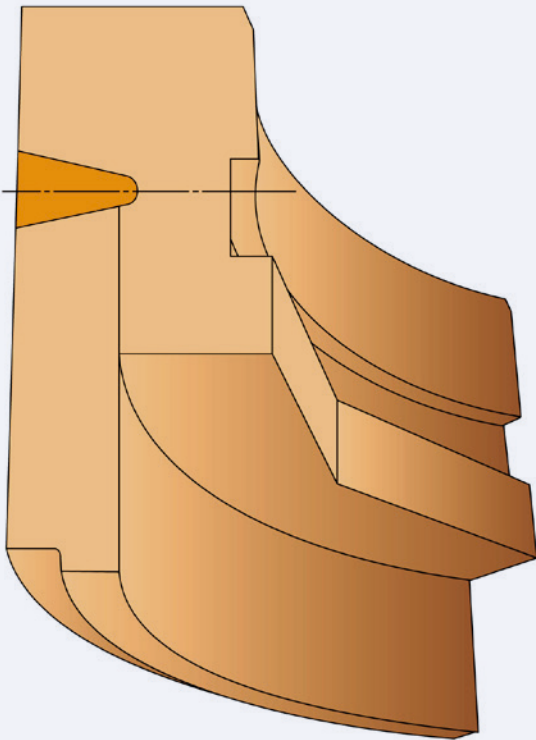
sen virumisvenymä on hyvä. Loppusijoituksen pitkäaikaiskestävyyden kannalta on tärkeää, että valittu materiaali säilyttää muodonmuutoskykynsä. Monilla metallisilla materiaaleilla virumismurtovenymä laskee ajan funktiona, ja tämä näkyy OFP-kuparillakin lievästi, mutta sen virumisvenymä pysyy silti yli 10 %:ssa käytettävissä olevan pitkäaikaisen koedatan perusteella [SKB TR-09-32].

Kun kuparikapselin kannen ja lieriön liitos on mekaanisesti hyvin jäykkä, sisäosan kulmiin jää pieni ilmarako, joka pikkuhiljaa pienenee sitä mukaa, kun kupari viruu ja painuu yhä tiiviimmin kiinni sisäosaan. Tämä aiheuttaa kanteen paikallisen jännitys- ja venymäkeskittymän. Kannen sulkemismenetelmäksi on sekä Suomessa että Ruotsissa valittu kitkatappihitsaus (FSW, Friction Stir Welding). Suomessa tutkitiin vaihtoehtona myös elektronisuihkuhitausta (EB, Electron Beam). Elektronisuihkuhitausta on teollisuudessa laajasti käytetty menetelmä, mutta sen heikkoutena on hitsiin muodostuva suuri raekoko (jopa yli 1 mm), joka jäähmettymisen edetessä johtaa epäpuhtauksien kerääntymiseen hitsin keskelle. Virumiskokeissa EB-hitsin poikittainen lujuus laskee tämän vuoksi merkittävästi. FSW-hitsaus sen sijaan tuottaa tasaisen hienon raekoon, joka on samaa suuruusluokkaa kuin kannesakin. Itse asiassa optisella mikroskoopilla hitsiä on vaikea erottaa perusaineesta.

KYT-tutkimusohjelmassa VTT:llä on tutkittu kuparimateriaalin virumisominaisuuksia pitkäaikaisin kokein. Tutkimuksen tarkoituksena on ollut tuottaa koedatua virumismallin kehittämistä varten. Virumismallia

puolestaan käytetään kapselin jännitysanalysissä ennustamaan syntyviä jännityksiä ja venymiä. Virumismallin kehitystyössä käytetään hyväksi myös SKB:n julkaisemaa koedataa. Stefan Holmströmin väitöskäytännössä kehitettiin LCSP-malli (Logistic Creep Strain Prediction), joka on osoittautunut hyvin käyttökelpoiseksi kuparin lisäksi myös terästen ja nikkeliseosten virumisen kuvaamiseen ja ennustamiseen. Virumismalli on implementoitu ABAQUS FEM-ohjelmaan, ja sen avulla on laskettu, että FSW-hitsin juuresta olevan loven kärkeen (Kuva 1) syntyy suurimmat jännitykset ja venymät.

Laskennallisesti saatu suurin venymä on luokkaa 3%, joka on huomattavasti pienempi kuin OFP-kuparin pitkäaikaisissa virumiskokeissa mitattu pienin venymä (10%). Ilman suojakaasua hitsattujen FSW-hitsien juureen syntyy oksidipartikkelivyöhyke, joka on osoittautunut herkäksi säröilemään virumiskokeissa. Nyt on alkamassa koesarja suojakaasussa FSW-hitsatuille kansille, joissa oksidipartikkeleita muodostuu merkittävästi vähemmän. Näissä kokeissa käytetään murtumismekaniikassa paljon käytettyä lovellista CT-koesauvaa.

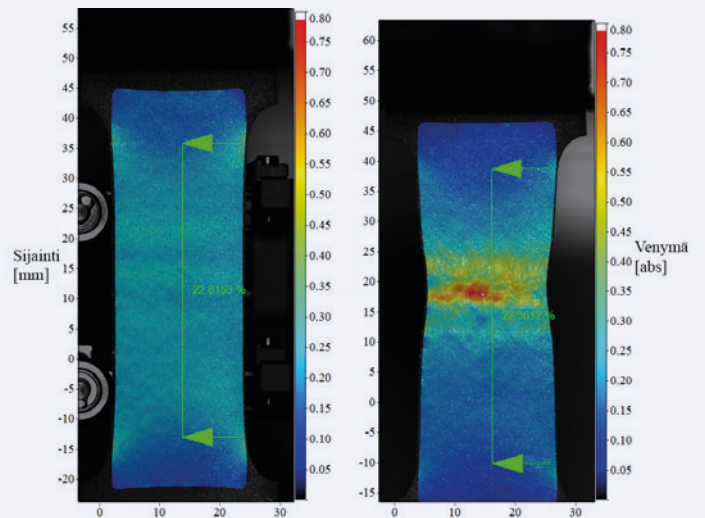


Kuva 1. Skemaattinen kuva kannen ja lieriön kitkatappihitsausliitoksesta.

Kuparikapselin kokema kuormitustapaus on itse asiassa pakkosiirtymä, kun hydrostaattinen paine painaa sen kiinni sisäosaan, jolloin sisäosa rajoittaa kapselin muodonmuutoksen. Tämän jälkeen kuparin kokema kuormitus on relaksaatiota, kun materiaali on venynyt tiettyyn venymään, joka pysyy loppusijoituksen aikana suurin piirtein samana ja materiaalin kokema mekaaninen jännitys laskee relaksaation vaikutuksesta. Kuparin ja valuraudan lämpölaajenemiskertoimien erosta aiheutuu lisävenymää lämpötilan laskiessa. Monien materiaalien tapauksessa perinteiset viru-

mismallit eivät ole kyenneet ennustamaan relaksaatiota, ja sama näyttää pätevän myös kuparille. Sen vuoksi VTT:llä käynnistettiin kuparin relaksaatiotestaus, joka on kuitenkin osoittautunut vaativaksi tehtäväksi koelaitteiston osalta, ja vaatii lisäpanostuksia. Alustavien tulosten perusteella elementtimenetelmän avulla ennustettu jännityksen laukeaminen on erilaista virumismallilla ja relaksaatiomallilla laskettuna.

Aalto-yliopiston koneenrakennustekniikan laitoksella on tehty perusteellista elektronimikroskopiaa (SEM/EDS ja EBSD) ja nanoindentaatiomittauksia kuparin ja sen hitsausliitosten mikrorakenteiden selvittämiseksi ja ymmärtämiseksi. Lisäksi on tutkittu deformaation paikallistumista FSW- ja EB-hitseihin hitaissa kuormituskokeissa käyttäen apuna optista venymämittaustekniikkaa. Koekappaleen pintaan valmistetaan optimoitu rasterikuvio, jota kuvataan yhdellä (2D) tai kahdella (3D) kameralla, ja perättäisiä kuvia vertaamalla voidaan määrittää koekappaleen paikallinen venymä ja sen kehittyminen käyttäen hyväksi digitaalista kuvakorrelaatiota (DIC). Kuvassa 2 on esimerkki venymän paikallistumisesta hitsausliitoksessa. Kuvasta nähdään, että kitkatappihitsissä plastinen venymä on jakautunut tasaisesti läpi perusaineen ja hitsin, kun taas EB-hitsissä plastinen venymä keskittyy erittäin voimakkaasti hitsausliitoksen keskelle. Kyseisillä koelaitteistoilla on testattu myös erilaisia hitsausvirheitä sisältävien FSW- ja EB-hitsinäytteiden käyttäytymistä.



Kuva 2. Venymän paikallistuminen FSW-hitsissä (vasen kuva) ja EB-hitsissä (oikeanpuoleinen kuva) hitaalla vetonopeudella 10-5 1/s venymällä 22.5%.

### Kuparin korrosio

Loppusijoitustilan syvyydellä (425 m) kalliolla liikkuva pohjavesi on suolaisempaa kuin Itämeressä. Ruostumattomien terästen kanssa työskentelevät tietävät hyvin, että suolavesi ja korotettu lämpötila ei ole hyvä yhdistelmä, koska se johtaa paikalliseen korroosioon ja jännityskorroosioon. Kupari ei näytä tästä kärsivän suolaisessa vedessä. Jos loppusijoituksen aikana syntyisi kuparin jännityskorroosiolle altistava ympäristö, jossa on riittävästi ammoniakkia tai nitriittiä, niin jännityskorroosio voi synnyttää kapselin seinämän läpi etenevän särön, jolloin kapselin

suojauskyky menetetään. Tämänhetkisen tietämyksen perusteella tällaisia olosuhteita ei pohjavesikemian perusteella uskota syntyvän. Sen sijaan tällä hetkellä tutkimuksen kohteena on selvittää mikrobiologisen toiminnan vaikutukset korroosioon.

Loppusijoituksen alku- ja loppuvaiheessa olosuhteet ovat kovin erilaiset, koska alkuvaiheessa on vielä runsaasti happea läsnä, mutta loppuvaiheen olosuhteet ovat hapettomat. Kummassakin tapauksessa pohjavedessä liikkuu ja elää mikrobeja, joita on pohjavedestä eristetty tutkimuskäyttöön. Tutkimustyön perusteena on, että mikrobit kestävät säteilyä ja voivat päästä kulkeutumaan bentoniitin läpi, ja muodostavat kuparin pintaan biofilmin, jonka alla korroosio-olosuhteet ovat erilaiset kuin kuparin pinnalla puhtaassa pohjavedessä. Bentoniitin riittävän tasainen paisuminen on puskurin toiminnan edellytys. Bentoniitin epätasainen paisuminen voi mahdollistaa mikrobikasvulle suotuisempien paikallisten olosuhteiden synnyn. Bentoniitin homogenisoituminen tapahtuu samanaikaisesti vesisaturaation kanssa. Vaillinaisen homogenisoitumisen tai puskurin tiheyden pienenemisen (esim. eroosio) vaikutuksesta mikrobit voivat päästä kulkeutumaan kuparikapselin pinnalle.

Paitsi suoraan kuparin pinnoille tarttuneet mikrobit myös bentoniittipuskurissa tai sen läheisyydessä tapahtuvat mikrobiologiset toiminat, jotka tuottavat kuparille korroosiota aiheuttavia ainesosasia, kuten asetaattia, typpiyhdisteitä tai sulfidia, voivat muuttaa olosuhteita ja kiihdyttää kuparin korroosiota huomattavasti. Näin ollen myös edellä mainittuun jännityskorroosioon voi mikrobitoiminnalla olla vaikutusta. VTT:llä on käynnissä kaksi tutkimusprojektia, joista ensimmäisessä tutkitaan hapellisen alkuvaiheen mikrobiologista korroosiota ja toisessa hapettoman loppuvaiheen ilmiötä. Aalto-yliopistossa on tutkittu kuparin pintaan muodostuvan reaktiotuotekerroksen vaikutusta sekä kaasufaasissa, joka esiintyy ennen bentoniitin turpoamista kiinni kupariin, että upotusrasituksessa. Reaktiotuotekerrosten ominaisuuksilla on vaikutus korroosioreaktioiden nopeuteen kuten biofilmeilläkin.

## Vedyn vaikutus

Kuparin korroosioreaktioissa voi muodostua sekä atomaarista vetyä että vetykaasua. Mikäli vety pääsee diffundoitumaan kupariin, se heikentää kuparin lujuutta merkittävästi, koska vety muodostaa kuparin raerajoille onkaloita, joka puolestaan edistää kuparin raerajamurtumista. Aalto-yliopistossa vetyä on varattu kupariin elektrolyyttisesti, jolloin vedyn vaikutusta kuparin mekaanisiin ominaisuuksiin on päästy testaamaan kokeellisesti. KTH:n kanssa on aloitettu yhteistyö, jossa tutkitaan  $\gamma$ -säteilyn vaikutusta vedyn absorptioon kupariin loppusijoitusolosuhteissa. Aalto-yliopistossa on tutkittu myös, onko kuparin syöpyminen mahdollista hapettomissa olosuhteissa vetyä kehittäen. Sekä Suomessa että Ruotsissa on todettu, että ympäristön happipitoisuus vaikuttaa kuparin liukenemiseen, mutta nykytietämyksen mukaan korroosion voimakkuudella ja vedynkehityksellä ei ole suoraa riippuvuutta.

## Suuret kysymykset

Kokeellisin menetelmin vaille lopullista vastausta ovat jääneet muun muassa sellaiset kysymykset kuten säilykö fosforin virumisvenymää parantava ja lujittava vaikutus 100 000 vuotta vai voiko kuparin käyttäytyminen muuttua hauraaksi pitkän ajan kuluessa. Plastisen muodonmuutoksen paikallistumismekanismit edellyttävät vielä merkittävää lisätutkimusta. Samoin vedyn absorptiota kupariin korroosion ja  $\gamma$ -säteilyn vaikutuksesta ei ole selvitetty kunnolla eikä vedyn haurastavaa vaikutusta tunneta riittävästi. Mikrobiologisen korroosion vaikutuksia ei myöskään tunneta riittävästi ja ainakin ne pitää tuntea loppusijoituspaikan kannalta spesifisesti.

## Kirjoittajat:



**DI Juhani Rantala**  
Erikoistutkija, KAPSELI  
koordinoitun hankkeen  
koordinaattori  
Teknologian tutkimus-  
keskus VTT Oy  
juhani.rantala@vtt.fi



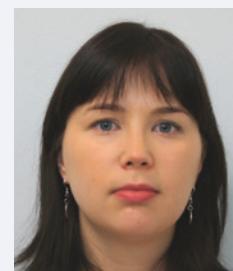
**TkT Hannu Hänninen**  
Professori  
Aalto-yliopiston insinööri-  
tieteiden korkeakoulu  
hannu.e.hanninen@aalto.fi



**TkT Jari Aromaa**  
Vanhempi yliopistonlehtori  
Aalto-yliopiston kemian-  
tekniikan korkeakoulu  
jari.aromaa@aalto.fi



**TkT Leena Carpen**  
Johtava tutkija,  
BASUCA-hankkeen  
projektipäällikkö  
Teknologian tutkimus-  
keskus VTT Oy  
leena.carpen@vtt.fi



**DI Pauliina Rajala**  
Tutkija, MICOR-hankkeen  
projektipäällikkö  
Teknologian tutkimus-  
keskus VTT Oy  
pauliina.rajala@vtt.fi

# Bentoniitin ominaisuuksien arviointi käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta varten

Bentoniitin ominaisuuksien arviointi (BOA) oli KYT2014-ohjelman koordinoitu hanke, jossa tavoitteena oli tuottaa tietoa ja osaamista kolmella osa-alueella: THM (Terminen-Hydrologinen-Mekaaninen), THC (Terminen-Hydrologinen-Kemiallinen) ja THMCB (Terminen-Hydrologinen-Mekaaninen-Kemiallinen-Biologinen). BOAn vetovastuussa oli VTT. Muita osapuolia olivat Helsingin yliopisto, Jyväskylän yliopisto, Aalto-yliopisto, GTK ja Numerola Oy. Bentoniittipuskuri on olennainen toiminnallinen osa KBS-3-menetelmää: se rajoittaa massavuota kuparikapselin ja pohjaveden välillä estäen siten korroosiota ja kapselin mahdollisesti rikkoutuessa se hidastaa radionuklidien vapautumista pohjaveteen; lisäksi se suojelee kuparikapselia, mikäli tapahtuu mahdollisia kallio-siirroksia. Bentoniittia on tutkittu pitkään, mutta paljon on vielä tekemättä. Loppusijoitussuunnitelman edetessä ja selkiintyessä on ilmennyt uutta tutkittavaa ja on odotettavissa että samoin käy rakentamis- ja käyttövaiheissa.

BOA was a coordinated project in the KYT2014 programme to assess the properties of bentonite, aiming to increase know-how in three different but coupled areas: THM (Thermal-Hydraulic-Mechanical), THC (Thermal-Hydraulic-Chemical) and THMCB (Thermal-Hydraulic-Mechanical-Chemical-Biological). BOA was coordinated by VTT. The other partners were Helsinki University, Jyväskylä University, Aalto University, Geological Survey of Finland and Numerola Oy. The bentonite buffer is an essential functional system of KBS-3 spent nuclear fuel repository method, decreasing mass flux between the copper canister and groundwater therefore preventing corrosion and in a possible case of leaking canister, it will retard release of radionuclides into groundwater; in addition of that bentonite protects copper canister in a case of possible rock dislocation. Bentonite has been studied for decades, but apparently much work is still needed, and when the real design of the buffer started many new issues were upraised and probably same happens during the construction and operation of the final disposal facility.

Markus Olin

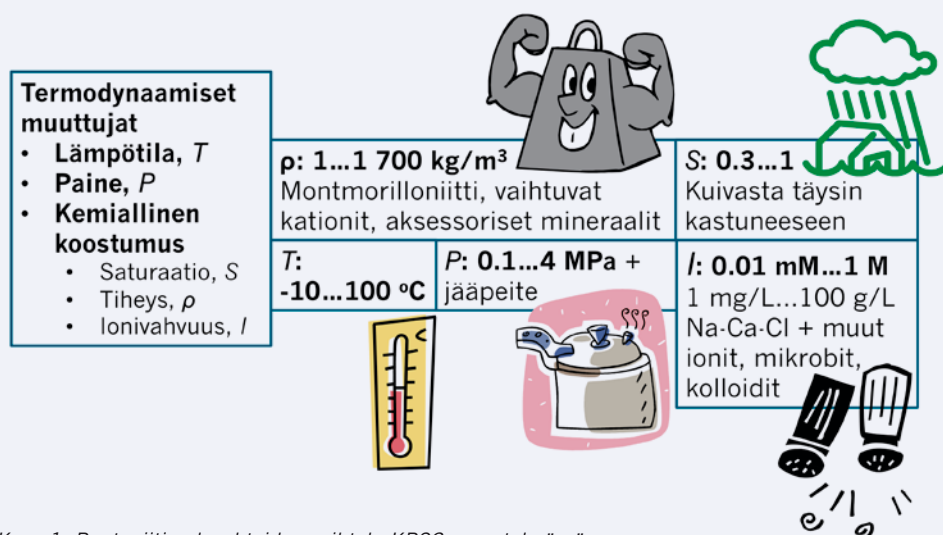
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Bentoniitti on yleisesti käytettävää savimateriaalia, jonka tärkeimmät ominaisuudet ydinjätteiden loppusijoitustilan puskurimateriaalina ovat sen paisuminen koko käytettävissä olevaan tilaan ja erittäin alhainen vedenjohtavuus yhdistettynä riittävän suureen taipuisuuteen. Kuvassa 1 on esitetty olosuhteita, joita bentoniitti saattaa joutua kohtaamaan loppusijoitustilassa. Termodynamiikan sääntöjen mukaan systeemin tila on määrätty, kun sen lämpötila, paine ja kemiallinen koostumus on annettu.

Bentoniitti voidaan "rakentaa" kuivasta montmorillonitista, johon on aina sidottu vaihtuvia kationeja (natrium, kalsium), puhtaasta ve-

destä ja suoloista (mineraaleista), joista osa voi olla liuenneena veteen. Kastuessa montmorillonitit rakenteeseen, vaihtuvien kationien joukkoon, siirtyy suuri osa vedestä ja samalla bentoniitti paisuu tai siihen syntyy paisuntajännitys, joka riippuu vaihtuvista kationeista ja suoloisuudesta. Kemiallinen tila vaikuttaa siten mekaaniseen tilaan ja lämpötila vaikuttaa puolestaan kemialliseen tilaan, mutta kemia ei yleensä loppusijoitusolosuhteissa vaikuta lämpötilaan suoraan.

Bentoniitti saattaa siten esiintyä kuivana tai täysin kylläisenä ja sillä väliä. Bentoniittiin ei välttämättä kohdistu ulkoisia voimia, mutta toisaalta jääkausien aikana hydrostaattinen paine saattaa olla varsin



Kuva 1. Bentonitiin olosuhteiden vaihtelu KBS3-menetelmässä.

kova. Suolapitoisuus voi vaihdella meriveden tapaisesta aina jääkauden sulamisvesien kutakuinkin suolattomaan. Suunnittelulämpötila on alle 100 °C, mutta jossain kokeissa lämpötila voi olla korkeampikin. Bentonitti saattaa, myös jäätyä, mikäli ikirouta ulottuu syvälle. Bentonitiin (kuiva)tiheys voi vaihdella alkutilan hiukan yli 1 600 kg/m<sup>3</sup>:sta aina kolloidaaliseen liuokseen asti. Kaikkia näitä rajoja ei kolkutella yhtä aikaa, mutta joka tapauksessa bentonitiin tutkijalla on kova työ edessään.

Bentonitiitä joudutaan tutkimaan sekä malleilla että kokeellisesti hyvin erilaisissa skaaloissa alkaen molekyyleistä täyteen loppusijoitustilan mittaan. Täten on luonnollista, että sinällään kansallisesti merkittävässä BOA-hankkeessa voitiin keskittyä vain muutamaasi asiakokonaisuuteen, joita kutakin kuvataan lyhyesti tässä artikkelissa.

### Leikkausvastuskokeet

Aalto-yliopistossa tutkittiin loppusijoitustunnelin täytemateriaalien välistä leikkausvastuskäyttäytymistä, josta ei juuri ollut olemassa tietoa. Mallinuksissa on havaittu, että rajapintojen leikkausvastus on pääroolissa alkutilassa tunnelin sulkemisen jälkeen kun puskurin painumista tunneliin on rajoitettava, jotta voidaan taata puskurin tiukka tiheyskriteeri (1950–2050 kg/m<sup>3</sup>) ja sen toimintakyky koko sen toiminta-ajalle. Leikkausvastus rajoittaa bentonitiipuskurin paisumista tunneliin tilanteessa, jossa puskurin on jo paisunut, mutta tunnelitäyte on vielä suhteellisen kuivaa.

Testattavat materiaalit olivat KBS-3V-vaihtoehdon mukaisia: Friedland savilohkoja, erilaisia kalliopintoja, rakeisia bentonitiimateriaaleja ja granuleja, mukaan lukien kallio. Materiaalien käyttäytymistä testattiin rasialeikkauksella erilaisissa olosuhteissa muuttaen vesipitoisuutta, suolaisuutta ja koelämpötilaa. Havaittiin, että pellettien ja granulien sisäinen leikkauslujuus pienenee, kun vesipitoisuus kasvaa ja materiaali alkaa muuttua yhtenäiseksi plastiseksi massaksi. Granulit olivat suhteellisen vakaita noin 50 %:n vesipitoisuuteen asti toisin kuin pelletit, jotka menettivät lujuuttaan jo pienemmillä vesipitoisuuksilla.

Rajapintaan lisättävän veden suolapitoisuuden vaikutusta tutkittiin kahden Friedland savilohkon rajapinnassa. Tulokset osoittivat rajapinnan leikkausvastuksen kasvavan veden suolaisuuden lisääntyessä.

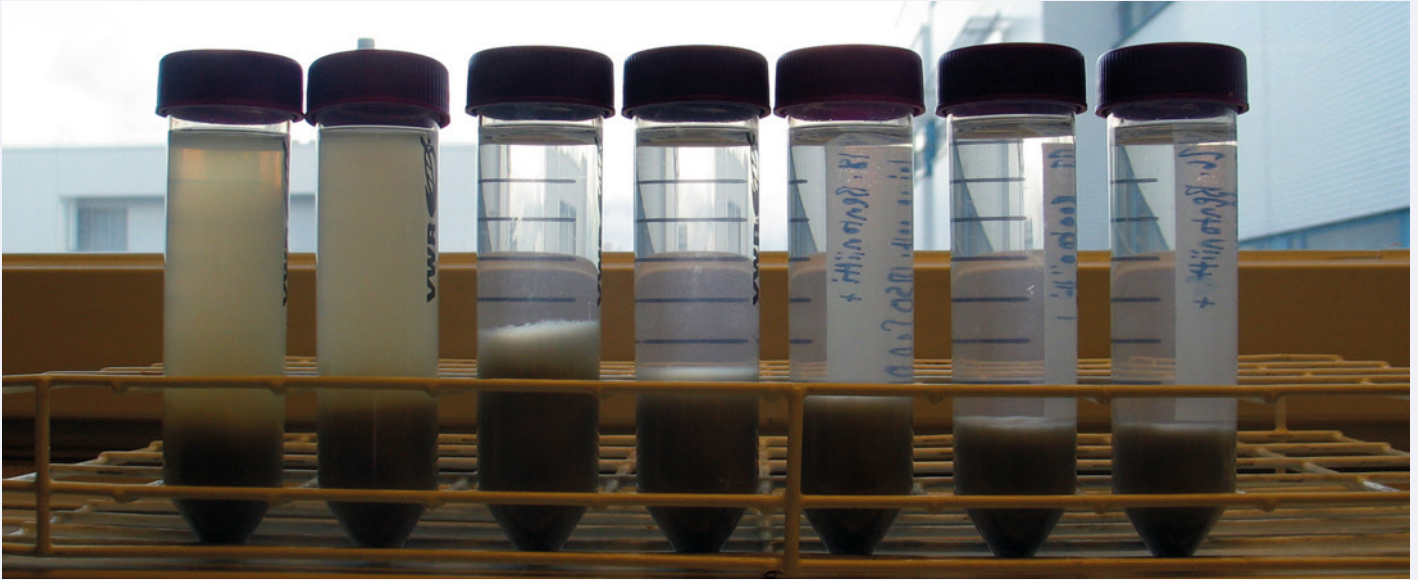
### Mineraloginen karakterisointi

Mineralogisessa tutkimuksessa parannettiin näytteiden analyysimenetelmiä, erityisesti elektronioptisia menetelmiä, kehittämällä samalla näyte-käsittelyä. Aksessoristen mineraalien tarkemman arvioinnin ja rakeiden visuaalisen tarkastelun mahdollistama elektronimikroskooppitutkimus (SEM, Scanning Electron Microscope) vaatii kiinteän näytteen, jotta näytteestä saadaan kunnollisia analyysituloksia.

Näyte-käsittelyä kehittämällä onnistuttiin valmistamaan näytepreparaatteja, jotka ovat kelvollisia korkeassa vakuuissa tehtävään SEM-analytiikkaan sekä mikroanalysaattorilla (EPMA, Electron Probe Micro Analyzer) tehtävään analytiikkaan. Mikroanalysaattorilla saadaan tarkasti analysoitua tutkittavan materiaalin kemiallinen koostumus. Elektronioptisten menetelmien käyttökelpoisuus korostui tutkittaessa kuparikapselin sisälle suljetun bentonitiin muuttumista sen oltua 15 vuoden ajan hapellisissa ja hapettomissa olosuhteissa.

### Röntgentomografian soveltaminen

Jyväskylän yliopistossa kehitettiin röntgentomografiaan perustuva, ainetta häiritsemätön menetelmä kastuvan ja paisuvan bentonitiin kolmiulotteisen vesipitoisuus- ja muodonmuutosjakautuman mittaamiseksi. Menetelmän tuottamaa kokeellista tietoa käytetään bentonitiipuskurin toimintakyvyn arviointiin tarkoitettujen mallien kehittämiseen ja validointiin. Menetelmä perustuu röntgentomografian kuvien vertailuun savinäytteen referenssitilan ja kastuneen sekä muotoaan muuttaneen tilan välillä. Siirtymäkenttä voidaan mitata saville, jotka sisältävät riittävän määrän tomografiakuvissa havaittavissa olevia yksityiskohtia, jotta 3D-algoritmi voi seurata niiden liikkeitä. Veden jakautuminen näyttees-



Kuva 2. Veden suolaisuuden vaikutus bentoniittikolloidien muodostumiseen ja stabiilisuuteen. MX-80 bentoniittijauhe Olkiluodon pohjaveden simulantissa, OLSO (1–30 mM).

sä saadaan selville vertailemalla kastuneen ja kuivan vertailunäytteen tomografiakuvien eroja.

Menetelmällä tuotettuja deformaatio- ja vesipitoisuusanalyysin tuloksia verrattiin numeerisesti ratkaistuun deformaatioon aksiaalisesti puristetussa sylinterimäisessä kuminäytteessä ja gravimetrisesti mitattujen näyteputkien vesipitoisuuteen. Kehitettyä menetelmää sovellettiin 3D-muodonmuutoksen ja vesipitoisuuden monitorointiin vakioilavuuksisessa sylinterinmuotoisessa puhdistetusta bentoniitista valmistetussa näytteessä (4D-tutkimus).

### Bentoniittikolloidit

Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio kehitti menetelmiä bentoniittikolloidien mittaukseen eroosion määrittämiseksi ja radionuklidien sorption analysoimiseksi kolloideihin. Eroosiomekanismit, epäorgaanisten kolloidien tuottaminen ja stabiilisuus määritettiin käyttämällä MX-80 tyyppistä bentoniittia. Vesiliuosten ionivahvuutta (1 – 30 mM) ja pH:ta vaihdeltiin. Eräkokeissa bentoniittipulveria tai pellettejä asetettiin näyteputkiin, joihin lisättiin liuosta. Näytteitä säilytettiin sekoittaen tai sekoittamatta. Kolloidien muodostumista ja stabiilisuutta seurattiin ajan funktiona analysoimalla pH, hiukkasten kokojakauma, hiukkaspitoisuus ja Zeta-potentiaali. Kuvassa 2 on esimerkki näytteistä, joissa liuoksen suolaisuus kasvaa vasemmalta oikealle.

Sr-85 ja Eu-152 isotooppien sorptiota tutkittiin pulverimaisella ja kolloidaalisella bentoniitilla ionivahvuuden ja pH:n funktiona erämenetelmällä. Np(V)-237 isotoopin makroskoopista sorptiokäyttäytymistä referenssimineraali korundiin ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), Na-montmorilloniittiin ja bentoniittikolloideihin tutkittiin suorittamalla kokeita pH:n ja nep-tuniumpitoisuuden funktiona. Np-237:n ja mineraalipinnan kemial-

lista luonnetta tutkittiin Zeta-potentiaalimittauksilla ja in situ -menetelmillä. Bentoniittikolloidien eroosio ja stabiilisuus riippuivat vahvasti ionivahvuudesta ja kationin valenssista. Kolloidaalinen dispersio säilyi stabiilina alhaisessa suolaisuudessa niinkin pitkään kuin neljä vuotta ja merkittävää kolloidierosoosiota ilmeni ainoastaan kaikkein laimeimmissa liuoksissa.

Kuvassa 3 on esitetty sorptiokokeessa ultrasentrifugoimalla erotettu kolloidifraktio. Sr-85:n and Eu-152:n adsorptio bentoniittikolloideihin ja montmorilloniittiin riippui vahvasti pH:sta siten, että sorptio lisääntyi pH:n noustessa. In situ ATR FT-IR -spektroskopiaa sovellettiin menestyksellä ensimmäistä kertaa montmorilloniitti- ja bentoniittikolloideihin tavoitteena tunnistaa tärkeimmät pintareaktiot. Np(V) adsorboitui montmorilloniitti- ja korundipinnille sisäkehäkompleksina, mutta sidos oli selvästi palautuva.

### Mikrorakenne

Helsingin yliopistossa tutkittiin myös bentoniitin ja puhdistetun montmorilloniitin nanotason rakennetta. Päämenetelmänä oli röntgensiron-ta (small-angle X-ray scattering (SAXS) ja wide-angle X-ray scattering (WAXS/XRD)), joka on erinomainen työkalu tuottamaan informaatiota savilevyjen pinoutumisesta ja rakenteesta. Röntgentomografiaa hyödynnettiin myös yhdessä SAXS:n (tai XRD:n) kanssa analysoitaessa makroskoopisten ja mikroskoopisten rakenteiden ja suuntautuneisuuden liittymistä toisiinsa. SAXSilla voidaan määrittää interlamellaaristen tilojen etäisyyksien ja vesikerrosten paksuuden jakautumista, savihutaleiden lukumäärää pinossa ja delaminoitujen osuutta. Savipinojen sirottaman röntgensäteilyn intensiteetti- tai tiheysprofileja voidaan tuottaa laskennallisesti ja verrata kokeellisen dataan.



Kuva 3. Sorptiokokeessa ultrasentrifugoimalla erotettu kolloidifraktio.

### Mallinnus

Numerolassa implementoitiin uusi numeerinen ratkaisija bentoniitin THM-käytöksen simulointimalliin. Ratkaisijan mekaaninen malli perustuu M. Katajan fenomenologiseen malliin, jossa bentoniitti on kuvattu elastoplastisella suurten siirtymien mallilla sisältäen mekaanisten parametrien kosteusrippuvuuden. Mallin parametrusointi perustuu useisiin bentoniitin kastumis- ja paisumiskokeisiin. Parametrusointi toimii nyt laajalla kosteusalueella.

Mekaaninen ratkaisija testattiin simuloimalla röntgen-tomografiakoikeita. Testeissä bentoniitin simuloitu ja mitattu siirtymäkenttä vastasivat laadullisesti toisiaan. Uusi hydrologinen ratkaisija kuvaa kosteuden siirron vesihöyryn ja nestemäisen veden diffuusiona ja niiden välisenä massansiirtona. Tomografiakoikeiden ja simulointien vertailussa saavutettiin simuloitujen ja mitattujen kosteuspitoisuusprofiilin laadullinen täsmävyys.

### Anturit

Sekä käytönaikainen monitorointi että kokeellisten systeemien seuraminen helpottuu ja tehostuu, jos mittauksia voidaan tehdä antureilla. Kompaktoitu bentoniitti on vaativa materiaali, jolle VTT:llä on kyetty kehittämään teknologiaa pH:n ja kloridin mittaamiseen. BOA-hankkeessa kehitettiin ja testattiin elektrodeja  $\text{Na}^+$ -,  $\text{Ca}^{2+}$ - ja  $\text{SO}_4^{2-}$ -ionien mittaamiseen. Edistystä saatiin aikaan ja menetelmä on kiinnostava, koska määrittämien ionien mittauksilla voitaisiin tuottaa hyvää kokeellista aineistoa THC-mallien testaamiseen.

### Kationinvaihto, liukoisuus ja mikrobit

Montmorilloniitin vaihtuvien kationien koostumuksella vaikuttaa bentoniitin ominaisuuksiin, mutta selektiivisyysarvoja ei yleensä ole mi-

tattu kuin huoneenlämmössä. VTT määrittä selektiivisyysarvoja eräkoikeissa kolmessa lämpötilassa 25, 50, ja 75 °C. Arvoissa ei havaittu merkittävää vaihtelua mittaustarkkuuden rajoissa.

VTT:n tekemä Ca- ja Na-montmorilloniitin liukoisuustutkimus pohjavesisimulanteissa (2 g/l) osoitti, että smektiittimineraali ei muuntunut merkittävästi 140 päivän kokeen aikana. Toisaalta kuitenkin koelolosuhteet muuttivat jossain määrin rakennetta, kuten montmorilloniitin levyjen etäisyyttä ja smektiitin osittaista liukenemistä, joista jälkimmäistä ei voi havaita XRD:llä, mutta se ilmeni sen sijaan selvästi kemiallisesta analyysistä.

Bakteerien ja sienten diversiteettitutkimukset tehtiin kahdessa kompaktoituissa bentoniitinäytteessä, jotka olivat olleet suljettuna kuparikapselin sisään 15 vuodeksi toinen hapellisissa ja toinen hapettomissa oloissa. Kokeissa havaittiin merkittävä mikro-organismien monimuotoisuus, joka vallitsi myös aktiivisten mikro-organismien osalta. Sulfaatin pelkistäjiä oli kummassakin näytteessä, mutta runsaammin anaerobisessa kuin aerobisessa näytteessä. SEM-kuvat osoittivat myös sienten olemassaolon; ne tunnistettiin molekyyli-mikrobiologisilla menetelmillä.

### Johtopäätökset

BOA-hanke oli kansallinen koordinoitu hankekokonaisuus KYT2014-ohjelmassa, mutta sillä oli kytkentöjä kansainvälisiin hankkeisiin, joista EU-hanke BELBaRiin läheisimmin. Bentoniitin ominaisuuksien ja käytäytymisen ymmärtäminen KBS-3-menetelmän tuottamissa olosuhteissa on osoittautunut haasteeksi.

BOAssa saatiin kuitenkin hyviä tuloksia soveltamalla useita erilaisia kokeellisia ja mallinnusmenetelmiä erityisesti montmorilloniitin ominaisuuksien tutkimiseen. Kaikki käytetyt ja kehitetyt menetelmät soveltuvat käytettäväksi monissa olosuhteissa ja prosesseissa: kuivasta täysin veden kyllästämään bentoniittiin, alkuilasta aina jääkauden jälkeisiin oloihin ja täysin kompaktoitusta tiheästä tilasta aina laimeisiin kolloidiliuoksiin asti. Suunnilleen sama konsortio jatkaa tutkimuksia myös KYT2018-ohjelmassa THEBES-projektissa, jota koordinoi Aalto-yliopisto.

### Kirjoittaja:



FT Markus Olin

Tutkimusprofessori, BOA-hankkeen koordinaattori  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
markus.olin@vtt.fi

# Diplomityö: Radioaktiivisen päästön ennustaminen valmiustilanteessa

Thomas Lehtomäki  
Säteilyturvakeskus

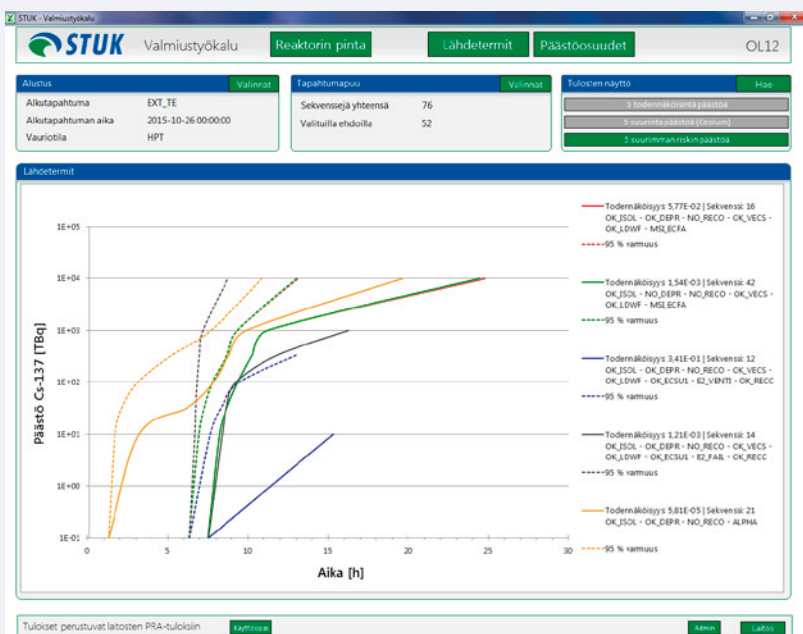
Diplomityössä selvitettiin eri päästöä ennustavien ohjelmien ominaispiirteet, käyttömahdollisuudet sekä rajoitukset, ja selvitystyön perusteella kehitettiin suomalaisille ydinvoimalaitoksille valmiustilanteisiin sopiva päästön arviointityökalu.

In the Master's thesis the characteristics, usage possibilities and limitations of programs which are used to predict a radiological release were investigated. Based on the results a new tool for Finnish nuclear power plants was developed that can be used to estimate a radiological release in an emergency situation.

Suomalaisia ydinvoimalaitoksia koskeissa valmiustilanteissa Säteilyturvakeskuksen tehtävänä on ennakoida laitostilanteen kehittymistä sekä arvioida mahdollisen radioaktiivisen päästön suuruus ja ajankohta. Tällä hetkellä ennuste päästöstä perustuu asiantuntija-arvioon sekä valmiuskäsikirjaan koottujen onnettomuusanalyysien tulosten käyttöön.

Radioaktiivisen päästön ennustaminen on haastavaa ja siihen liittyy lukuisia mallinnuksesta ja ilmiöiden satunnaisuudesta johtuvia epävarmuuksia. Yllättäviin onnettomuuden reunaehto- ja muutoksiin voi-

daan kuitenkin varautua etukäteen ottamalla huomioon niiden mahdollisuus ja arvioimalla niiden vaikutus lähde-terminiin. Radioaktiivisen päästön ennustamiseen soveltuvat ohjelmat voivat olla joko dynaamisia, jolloin niillä mallinnetaan onnettomuustilannetta valmiustilanteen aikana, tai staattisia, jolloin ne hyödyntävät aikaisemmin laskettuja onnettomuustilanteita. Ohjelmat voivat olla asiantuntijoille tarkoitettuja, jolloin ne vaativat tietämystä vakavista onnettomuuksista, tai ne voivat olla helppokäyttöisiä, jolloin ne sisältävät paljon käyttäjää ohjaavia toimintoja.



## Työkalu päästön arvioimiseen

Työssä päädyttiin kehittämään tason 2 PRA-tuloksia (Probabilistic Risk Assessment) nopeasti käsittelevä työkalu, jonka avulla asiantuntijan on helppo vertailla eri onnettomuussekvenssejä ja tehdä päästöennuste laitoksen tilan kehittymisen perusteella. Työkalu ei pyri automatisoidusti ennustamaan tilanteen kehittymistä vaan antaa asiantuntijalle apuvälineen eri skenaarioiden vertailuun. Vakavien onnettomuuksien kulku on kuvattu tason 2 PRA:n suojarakennusmallissa selkeästi ja tarkasti. Työkalun päänäkymä on esitetty kuvassa 1.

Valmiustyökalu toteutettiin Microsoft Excel 2010 -ohjelmiston avulla käyttäen Visual Basic for Applications -ympäristöä eli VBA-ohjelmointia. Työkalu hakee automaattisesti PRA-tulokset tekstitiedostoista tai ulkoisista Excel-työkirjoista, hakee käyttäjän valitsemat tapahtumat esitettäväksi kuvaajassa ja järjestää tulokset. Työkalu

Kuva 1. Kehitetyn työkalun päänäkymä.



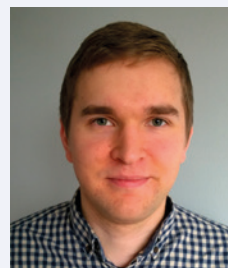
pyrittiin kehittämään mahdollisimman helppokäyttöiseksi ja helposti päivitettäväksi.

Työkalulla on mahdollista valita ohjelman valintaikkunasta ne tapahtumat, jotka ovat tapahtuneet tai joiden oletetaan tapahtuvan. Valittuja tuloksia on mahdollista tarkastella kuvaajassa, jossa näytetään viisi halutussa järjestyksessä olevaa sekvenssiä (5 todennäköisintä päästöä, 5 suurinta päästöä (Cs-137:n suhteen) tai 5 suurimman riskin päästöä).

Työkalun hyödyt tulevat parhaiten esille onnettomuuden alkuvaiheessa, jolloin työkalun avulla on mahdollista tehdä nopeasti ennuste onnettomuuden kulusta erilaisilla oletuksilla. Kehitetyn työkalun suurimpana puutteena voidaan pitää sen tulosten staattisuutta ja laitoskohtaisuutta. Tason 2 PRA:ssa on kuvattuna vain rajallinen määrä onnettomuussekvenssejä, jolloin tuloksia ei voida suoraan soveltaa onnettomuuksiin, jotka etenevät epäjatkuvasti.

Jos tulevaisuudessa onnettomuuksien analysointikykyä halutaan merkittävästi parantaa, on todennäköisesti otettava käyttöön nopea deterministinen mallinnusohjelma, jolla voidaan laskea erilaisia onnettomuussekvenssejä onnettomuuden aikana.

#### Kirjoittaja:



**DI Thomas Lehtomäki**

Tarkastaja

Reaktori- ja turvallisuusjärjestelmät

Säteilyturvakeskus

thomas.lehtomaki@stuk.fi

## Diplomityö: Ydinvoiman rooli tulevaisuuden energiajärjestelmässä

Jarkko Ahokas  
Fortum Power & Heat Oy

Diplomityössä pohdittiin ydinvoiman roolia Pohjoismaiden energiajärjestelmässä vuonna 2050. Diplomityön energiajärjestelmän rakenne pohjautuu International Energy Agency:n julkaisussa Nordic Energy Technology Perspectives esitettyihin skenaarioihin ja arvioihin.

The role of nuclear power in 2050 in the energy system of the Nordic countries was considered in the master's thesis. The structure of the analyzed energy system is based on the scenarios and values published in the Nordic Energy Technology Perspectives by the International Energy Agency.

Pohjoismaainen energiajärjestelmä on jo nyt yksi maailman hiilivapaimista jos mittarina on sähkön tuotannossa syntyvien CO<sub>2</sub>-päästöjen määrä tuotettua kilowattituntia kohti. Pohjoismaista Suomi tuottaa eniten sähköntuotannon CO<sub>2</sub>-päästöjä 46 %:n osuudellaan (vuonna 2010). Suomi on sitoutunut vähentämään hiilidioksidipäästöjään 80-95 % vuoden 1990-tasosta vuoteen 2050 mennessä. Tässä diplomityössä analysoitiin Pohjoismaista hiilineutraalia energiajärjestelmää, jossa ydinvoimalla on merkittävä rooli.

#### **Ydinvoima suhteessa muihin energiantuotantomuotoihin**

Diplomityössä esiteltiin ydinvoiman perusominaisuuksia ja niiden vaikutuksia yhteiskunnalle, energiajärjestelmälle sekä ympäristölle. Tarkasteluun otettiin muun muassa energiaturvallisuus ja energiantuotannon huoltovarmuus, ydinvoiman säädettävyys ja sen ennustettavuus. Hiilineutraalin energiajärjestelmän kannalta mielenkiintoisia vertailuja tehtiin esimerkiksi tuotantomuodon elinkaaren aikana muo-

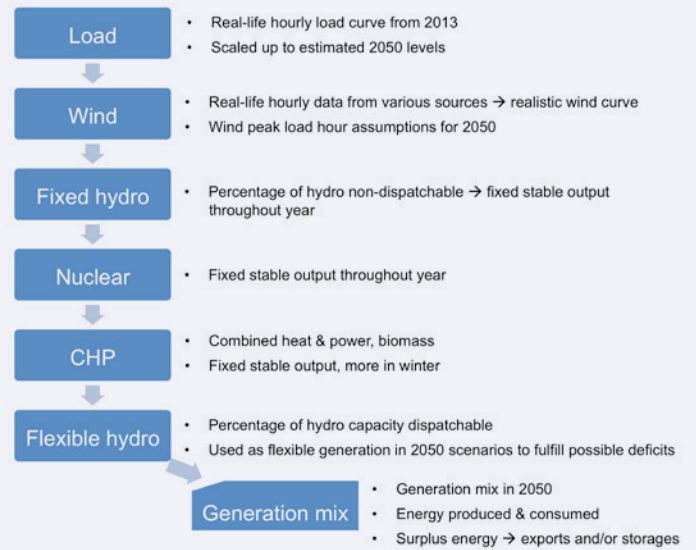
dostuvista hiilidioksiidiin verrattavista päästöistä tuotettua kilowattituntia kohti. Näissä vertailuissa ydinvoima asettui samalle tasolle kuin aurinkoenergia ja vesivoima. Myös ydinvoiman rooli energiaturvallisuuden ja energian huoltovarmuuden takaamisessa arvioitiin merkittäväksi. Esimerkiksi uraanin sekä uraanipolttoaineen käsittely ja valmistuspalvelut ovat moninkertaisesti redundanttisia: uraaniresursseja on saatavilla maantieteellisesti ja poliittisesti useammista eri lähteistä kuin fossiilisia polttoaineita.

**Työssä laadittu malli energijärjestelmälle**

Diplomityössä tehtiin Excel-mallinnus Pohjoismaiden energijärjestelmästä. Osa mallin logiikasta on esitelty kuvassa 1. Mallissa on vuoden jokaiselle tunnille rivi, jolla on ensin kulutus kyseisenä tuntina. Kulutukseen vastataan eri tuotantomuodoilla, jotka lisätään myös tuntikohtaisesti malliin. Näin käydään läpi koko vuosi tuntitasolla ja lopputuloksena malli antaa kulutuksen ja tuotannon vuoden jokaiselle tunnille sekä tietysti kokonaiskulutuksen ja -tuotannon. Lisäksi malli näyttää energijärjestelmän rakenteen, joka vaihtelee skenaarioittain.

Malliin ladattiin Pohjoismaiden kulutusdata Nord Poolista vuodelta 2013. Myös tuulivoimatuotanto mallinnettiin vuoden 2013 datan perusteella. Mallilla muodostettiin energiantuotantojärjestelmä Pohjoismaissa vuonna 2013 ja verrattiin tuloksia vuoden 2013 toteutuneeseen dataan. Tulosten vastatessa havaintoja, skaalattiin malli International Energy Agency:n skenaarioihin ja arvioihin pohjautuen vuodelle 2050. Vuodelle 2050 muodostettiin useita erilaisia skenaarioita joita syötettiin malliin. Näistä kolme on esitetty kuvassa 2. Malliin syötettiin eri tuotantomuotojen arvioidut kapasiteetit vuonna 2050 sekä tunnuslukuja, kuten hui-punkäyttöaika.

Mallinnettu energijärjestelmä toimii hyvin ja uusiutuvan energiantuotannon heilahtelut eivät aiheuttaneet sähköenergian alijäämää järjestelmässä. Ydinvoiman säädettävyyttä vastaavassa järjestelmässä ei mallinnettu ja tämä on yksi mielenkiintoinen jatkotutkimuksen aihe.

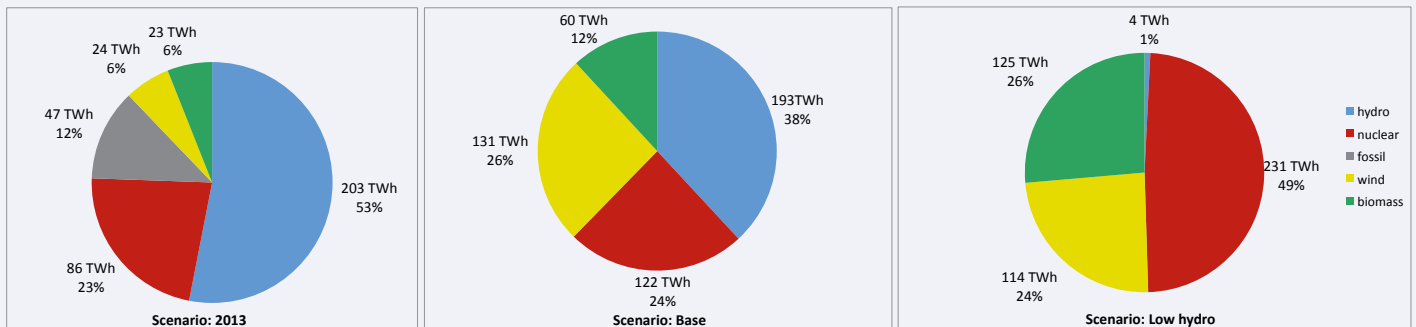


Kuva 1. Laaditun mallin logiikka.

**Kirjoittaja:**



**DI Jarkko Ahokas**  
Suunnitteluinsinööri  
Fortum Power & Heat Oy  
jarkko.ahokas@fortum.com



Kuva 2. Sähköntuotannon rakenne eri skenaarioissa.

## Ydinjätehauta – uhka tulevaisuudelle

**OLKILUOTO 3** -voimalaitosprojektia ja Olkiluodon ydinjätteen loppusijoitusluoprojektia yhdistää se, että kummankin valmistuminen tuntuu kestävän kauan. Projektit eroavat toisistaan siinä, että OL3-projekti kestää kauan, koska kukaan ei tiedä mitä tehdä ja missä järjestyksessä. Käytetyn ydinpolttoaineen hautaus taas kestää kauan, koska kaikki tietävät hyvin yksityiskohtaisesti mitä tehdä ja missä järjestyksessä.

Onko ydinjätekysymys vatvottu kauas siitä mitä pitää käsitellä? Pelot ja uhat ydinjätteiden ympärillä ovat ristiriitaisia. Ydinjätteeseen kiitetty moni peruspelko: säteilyn aiheuttamat mutaatiot – nuo kaksipäiset kuusikäiset jälkeläisemme; tuntemattoman pelko – säteilyä ei näe, haista tai tunne; oman lapsen kuoleman pelko – luolamiehen tasolle vajonneet tulevat sukupolvet joutuvat vaaraan löytäessään ydinjäteluolan. Samat ihmiset jotka pelkäävät jättää pienen määrän syväälle haudattua ydinjätettä jälkipolville, uskaltavat jättää paljon suurempia riskejä tulevaisuudelle. Vastustaan kaikkia ratkaisuja ja kaikkea muuta paitsi omaa elämäntapaansa he pakottavat meidät odottamaan. Niinpä odotamme kunnes hallitsematon väestönkasvu ja kasvava energian tarve tuhoaa luonnonvarat ja ihmisen mahdollisuudet elää pallollamme.

Suomalainen ydinjätteen loppusijoitusratkaisu on maailmanlaajuisesti ainutlaatuinen: poliittinen hyväksyntä ja lainsäädäntö ovat kunnossa. Tarvittavat miljardit on jo kerätty sähkön käyttäjiltä ja rahastoitu odottamaan jatkovaiheita. Lupapaperien vuoresta pääosa on kirjoitettu ja tunnelit Olkiluodossa laitosten lähellä valmistuvat. Monessa maassa tilanne on toinen!

Miksi lukuisat eurooppalaiset ja kansainväliset työryhmät eivät löydä ratkaisua? Ajoittain koko keskustelu ja selvitysten tarkkuusvaatimukset ovat livenneet suhteettomiksi. Osa tutkimustarpeista ohjautuu tarpeesta työllistää

ydinvoimasta luopuneiden maiden työttömät ydintekniikan tutkijat. Laitosten tuottama ydinpolttoaine lepää laitoksilla tai välivarastoissa odottamassa ratkaisua. Poliitikot pallottelevat asiaa ja jätekonseptit kiittaavat helppoa rahaa laitimillaan uusilla papereilla. Puhetyöläisille ja konsulteille ydinjätekysymys on hyvä poliittinen peruna, jota voi pyöritellä monella kielellä loputtomiin.

Entä jälkipolvien taakka? Jos tulevat sukupolvet eivät saa ratkaistua ilmaston ja ympäristön muutoksesta aiheutuvia ongelmia – haittaako ydinjäte? Norjan tuntureilta pari kilometriä korkeana tulevan mannerjään höylätesä Pohjoismaat pois satojen metrien syvyydeltä, ei tuolloin lähemmäs pintaa nouseva, tuhansia vuosia vanha Olkiluodon ydinjätehauta lie ne pohjoismaisen yhteistyön suurin ongelma.

Ydinjäteratkaisu on lähellä naapurissamme Ruotsissa, jossa ydinvoimasta kerran luovuttiin kansanäänestyksellä. Nyt ruotsalaisten ongelma on toinen: ydinvoimaloiden omistajat haluavat sulkea ne kannattamattomina ja siirtyä jätteen loppusijoitukseen. Mutta mitä tapahtuu? Säädökset ovat niin raskaita, että ne estävät

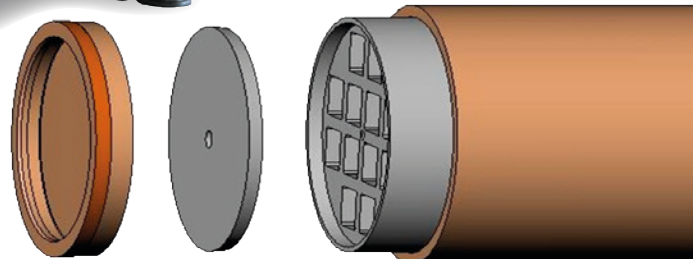
laitosten käytön lopettamisen pikaisesti. Ydinpolttoaineniippujen poistaminen laitokselta ei Ruotsissa ja useissa muissa maissa lopeta laitoksen raskasta luvitusta ja viranomaisvalvontaa. Monihaaraiset säännökset pitävät ydinvoimalaitoksen lupaprosessit yhä työläinä, vaikka radioaktiivisten aineiden määrä laitosalueella putoaisi aluesairaalan tasolle.

Vuosituhansia sitten haudanryöstäjä uhmasi henkien ja jumalien näkymätöntä uhkaa ja katkoi miekallaan kuolleiden kuninkaiden ja faaraoiden sormet riistääkseen kultasormukset kangistuneista sormista. Tulevaisuuden haudanryöstäjä uhmaa ydinjätelakia ja säteilyn näkymätöntä uhkaa leikatakseen lasermiekallaan siivuja tummaksi patinoituneista kuparikapseleista. Kuparisivut ovat arvokkaita raaka-ainekaupan harmailla markkinoilla.

### Ydininsinööri



*Suoja-asuun pukeutunut haudanryöstäjä kuparikapselin kimpussa.*



**Palautusosoite:**

Suomen Atomiteknillinen Seura  
PL 78  
02151 ESPOO



**ATS**

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

---

KANNATUSJÄSENET

---

**B+Tech Oy**

**Platom Oy**

**Teknologian  
tutkimuskeskus VTT Oy**

**Fennovoima Oy**

**Pohjoismainen  
Ydinvakuutuspooli**

**Teollisuuden Voima Oyj**

**FinNuclear ry**

**Pohjolan Voima Oy**

**TVO Nuclear Services Oy**

**Fortum Power  
and Heat Oy**

**Posiva Oy**

**Voimaosakeyhtiö SF Oy**

**Mirion Technologies  
(RADOS) Oy**

**Saanio & Riekkola Oy**

**Wärtsilä Finland Oy**

**Siemens Osakeyhtiö**