

ATS

YDINTEKNIikka

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA —

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



1/2011

vol. 40

Tässä numerossa

Pääkirjoitus:

Fukushiman opetukset 3

Editorial:

Lessons of Fukushima 4

Uutisia 5

Loviisan voimalaitoksen
käytöstäpoiston suunnittelu 6

Supervision of decommissioning
of Ignalina NPP 9

Ydinlaitosten käytöstäpoisto
– katsaus Yhdysvaltoihin 12

Talkoilla opiskelijat ja asiantuntijat
mukaan ydinjätehuollon alalle 14

Olkiluodon VLJ-luolan
käyttökokemuksista 17

Voimalaitosjätteen loppusijoitukseen
liittyvät tutkimus- ja kehityshankkeet
Olkiluodossa 19

Länsinaapurin
lämmitysreaktorikeikka 22

Matkakertomus; IAEA, Wien 26

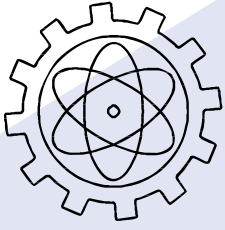
Diplomityöt 27

Loviisan ydinvoimalaitoksen
toteuttajia palkittiin Moskovassa 29

Kolumni:

Crab Key 1:n
turvallisuuskulttuurin ongelmat 30

Tapahutumakalenteri 31



ATS

1/2011, vol. 40

VUODEN 2011 TEEMAT

1/2011

Ydinlaitosten käytöstäpoisto

2/2011

Tutkimus

3/2011

YG / seniorinumero

4/2011

Syysseminaari ja ekskursio

ILMOITUSHINNAT

1/1 sivua 700 €

1/2 sivua 500 €

1/4 sivua 300 €

TOIMITUKSEN OSOITE

ATS Ydintekniikka
c/o Riku Mattila
Säteilyturvakeskus
PL 14
00881 Helsinki
Puhelin 09 759 88680
Telefax 09 759 88382
toimitus@ats-ydintekniikka.fi

ISSN-0356-0473

Painotalo Miktor Oy



441 194
Painotuote

JULKAISIJA / PUBLISHER

Suomen Atomiteknillinen Seura –
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

ATS WWW

www.ats-fns.fi

Toimitus / Editorial Staff

Päätoimittaja / Chief Editor

DI Riku Mattila
Säteilyturvakeskus
paatoimittaja@ats-ydintekniikka.fi

Toimitussihteeri / Subeditor

Minna Rahkonen
p. 0400 508 088
fancymedia@saunalahti.fi

Erikoistoimittajat /

Members of the Editorial Staff

TKT Jarmo Ala-Heikkilä
Aalto-yliopiston
teknillinen korkeakoulu
jarmo.ala-heikkila@tkk.fi

DI Eveliina Takasuo

VTT
eveliina.takasuo@vtt.fi

FM Johanna Hansen

Posiva
johanna.hansen@posiva.fi

DI Pekka Nuutinen

Fortum Power and Heat Oy
pekka.nuutinen@fortum.com

DI Kai Salminen

Fennovoima Oy
kai.salminen@fennovoima.fi

FM Sini Gahmberg

Teollisuuden Voima Oyj
sini.gahmberg@tvo.fi

Haastattelutoimittaja /

Journalist reporter

DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@welho.com

Johtokunta / Board

Puheenjohtaja / Chairperson

Tkt Eija Karita Puska
VTT
PL 1000, 02044 VTT
p. +358 20 722 5036
puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja /

Vice-chairperson

DI Veijo Ryhänen
Teollisuuden Voima Oy
veijo.ryhanen@tvo.fi

Sihteeri /

Secretary of the Board

Tkt Silja Häkkinen
VTT
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

Risto Vanhanen
Aalto-yliopiston
teknillinen korkeakoulu
risto.vanhanen@tkk.fi

Jäsenet /

Other Members of the Board

Tkt Jari Tuunanen
Fortum Power and Heat Oy
jari.tuunanen@fortum.com

DI Kai Salminen

Fennovoima Oy
kai.salminen@fennovoima.fi

Timo Seppälä

Posiva Oy
timo.seppala@posiva.fi

Toimihenkilöt / Officials

Jäsenrekisteri /

Membership Register

Tkt Silja Häkkinen
VTT
sihteeri@ats-fns.fi

Kv. asioiden sihteeri /

Secretary of International Affairs

Tkt Jari Tuunanen
Fortum Power and Heat Oy
jari.tuunanen@fortum.com

Energiakanava /

Energy Channel

Tkt Karin Rantamäki
VTT
karin.rantamaki@vtt.fi

Young Generation

DI Tapani Raunio
Fortum Power and Heat Oy
tapani.raunio@fortum.com

Ekskursios sihteeri /

Excursion Secretary

DI Jani Pirinen
Fortum Power and Heat Oy
jani.pirinen@fortum.com

Suomen Atomiteknillisen Seuran (perustettu 1966) tarkoituksena on edistää ydintekniikan alan tuntemusta Suomessa, toimia yhdysiteenä jäsentensä kesken kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi sekä vaihtaa tietoja ja kokemuksia kansainvälisellä tasolla.

ATS Ydintekniikka on neljä kertaa vuodessa ilmestyvä lehti, jossa esitellään ydintekniikan tapahtumia, hankkeita ja ilmiöitä numeroittain vaihtuvan teeman ympäriltä. Lehti postitetaan seuran jäsenille.

Lehdessä julkaistut artikkelit edustavat kirjoittajien omia mielipiteitä, eikä niiden kaikissa suhteissa tarvitse vastata Suomen Atomiteknillisen Seuran kantaa.



PÄÄKIRJOITUS

Fukushiman opetukset

Fukushima Dai-ichi -ydinvoimalaitoksen sähkömenetyksestä johtunut reaktorionnettomuus pistää ydinlaitosoperaattorit ja viranomaiset arvioimaan laitosten turvallisuutta tilanteissa, jotka eivät välttämättä ole kuuluneet niiden alkuperäisiin suunnitteluperusteisiin. Nyt kyse on lähinnä täydellisestä sähkömenetyksestä ja suojarakennuksen paineen hallinnasta. Three Mile Islandin sydämensulamisonnettomuus 32 vuotta sitten toimi vakavien reaktorionnettomuuksien tutkimuksen käynnistäjänä, ja Tshernobylin reaktiivisuusonnettomuuden seurauksena parannettiin paitsi laitoksia, myös kansallista ja kansainvälistä tiedottamista ydinlaitostapahtumien yhteydessä.

ON SELVÄÄ, että seurauksiltaan vakava tapahtuma herättää monenlaisia paineita: toisaalta konkreettisiin parannuksiin laitoksilla, toisaalta myös ylipäättään sen osoittamiseen, että asioille tehdään jotakin. Totuus on kuitenkin, että tapahtuman seurausten vakavuus ei korreloi sen kanssa, kuinka paljon siitä on otettavissa oppia.

TOISTAISEKSI FUKUSHIMA Dai-ichin onnettomuuden kulku ei ole yksityiskohdiltaan täysin selvillä. Alustavasti voitaneen kuitenkin todeta, että suunnitteluperusteet ylittäneen tsunamin lisäksi tapahtumassa ei ole tullut vastaan sellaisia yllätyksiä, joiden mahdollisuus ei olisi ollut etukäteen tiedossa. Laitokset – tai ainakin niiden reaktorit – näyttävät selvinneen maanjäristyksistä ilman merkittäviä vaurioita, ja ongelmien alkusyy on ollut suunnittelupe-

rusteiden ohi menevä, samasta alkusyystä (tsunami) johtunut kaiken vaihtosähkön ja sähkönsyöttölaitteiden menetys. Lisäksi vaikutusta tapahtumien kulkuun on ollut akkujen ehtymisestä johtuneella ohjaussähköjen menetyksellä, joka ilmeisesti osaltaan on vaikuttanut siihen, että reaktorisydämet ehtivät paljastua ennen hätäkeinona syötetyn meriveden saamista reaktoriin. Myös menettelyt suojarakennuksen paineen alentamiseksi ovat epäonnistuneet, koska vetyä on päässyt suojarakennuksen ulkopuolelle reaktorirakennukseen aiheuttamaan vetyräjähdysä.

KAIKKI EDELLÄ mainitut riskit ovat olleet tiedossa jo ennen nyt tapahtunutta onnettomuutta, ja niiden seurausten pienentämiseksi olisi ollut mahdollisuus tehdä paljon jo olemassa olleen tiedon pohjalta.

TAPAHTUMAN OPIT on tietysti käytävä läpi ja arvioitava, aiheuttavatko ne tarvetta muutoksiin käynnissä, rakenteilla tai suunnitteilla olevissa ydinlaitoksissa. Dramaattisten tapahtumien ja turvallisuustyöhön tavallista enemmän kohdistuvan julkisen paineen allakin pitää kuitenkin pitää mielessä, että turvallisuusparannusten tekeminen ei saa riippua siitä, minkälaisen tapahtuman seurauksena niiden tarve tulee esille. Milloin ikinä tarvetta parannuksiin havaitaan, ne pitää tehdä heti eikä jäädä odottamaan seuraavan ydinlaitostapahtuman tuomaa julkista painetta.

Lessons of Fukushima

The accident at the Fukushima Dai-ichi nuclear power station, caused by a total loss of AC power, will force nuclear plant operators and authorities to evaluate the safety of the plants in conditions not included in their original design bases. This time it's mainly about total loss of power and control of the containment pressure. The core meltdown at Three Mile Island 32 years ago set forth the research on severe reactor accidents, and the reactivity accident at Chernobyl led to improvements not only in the plants themselves, but also in the practises of national and international information exchange when a nuclear plant incident takes place.

IT IS CLEAR that an accident with serious consequences creates many kinds of pressure: on one hand, on making actual improvements at plants; on the other hand also just to demonstrate that things are being done. However, the truth is that the severity of the consequences of an incident or accident does not correlate with the number of things to be learnt from it.

THE DETAILS of the Fukushima Dai-ichi accident are so far not completely known. Preliminarily, it can probably already be said that excluding the height of the tsunami wave, no new, totally unexpected occurrences have taken place. The plants – at least their reactors – seem to have survived the earthquakes without significant damage, and the initiating cause for the accident was a beyond-design basis total loss

of power and electrical equipment caused by a common external cause (tsunami). Additionally, loss of DC power – caused by depleting the batteries within a few hours – has had an effect on the events and probably contributed to the core uncoveries before the seawater could be injected in the reactors as an ultimate method to cool the cores. Moreover, the procedures for reducing the containment pressure by venting steam from the suppression pool have apparently failed, allowing hydrogen to escape from the containment to the reactor buildings to cause explosions.

ALL THE aforementioned risks have been known prior to the accident at hand, and opportunities have existed, based on the already existing information, to do a lot to mitigate their consequences.

THE LESSONS to be learnt from the accident must evidently be studied and evaluated to see if modifications are needed at nuclear plants in operation, under construction or in the planning phase. Still, even though the events have been dramatic and the public pressure on the nuclear safety work is higher than usual, it must be kept in mind that the safety modifications shall not depend on the nature of the event leading to their discovery. Whenever the need for improvements is found to exist, the necessary modifications must be made promptly, without waiting for the public pressure caused by the next nuclear event. ■

UUTISIA

Suomen ydinvoimalaitosten turvallisuus luonnonkatastrofeissa arvioitavana

FUKUSHIMAN YDINVOIMALAONNETTOMUUDEN johdosta Työ- ja elinkeinoministeriö pyysi Säteilyturvakeskukselta selvitystä siitä, miten Suomen käytössä, rakenteilla tai suunnitella olevat ydinvoimalaitokset selviytyisivät nykyiset suunnitteluperusteet ylittävistä poikkeustilanteista, jotka johtaisivat laitoksen sähkönsyötön tai lämpönielun menetykseen.

SÄTEILYTURVAKESKUS PYYSI selvitystensä pohjaksi voimalaitoksia itse arvioimaan nykytilannetta ja mahdollisuuksia pa-

rantaa valmiuksia selviytyä kyseisen kaltaisista onnettomuuksista ilman vakavaa sydänvauriota.

SÄTEILYTURVAKESKUKSEN SELVITYS Työ- ja elinkeinoministeriölle julkaistiin 15.5.2011, ja se on kokonaisuudessaan luettavissa STUKin verkkosivuilta, <http://www.stuk.fi>.

Ydintekniikan ja radio-kemian tohtoriohjelma aloittaa 2012

AALTO-YLIOPISTO, HELSINGIN yliopisto ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto hakivat Suomen Akatemialta ja Opetus- ja kulttuuriministeriöltä yhteistä ydintekniikan ja radio-kemian tohtoriohjelmaa syyskuussa 2010. Maaliskuussa 2011 konsortio sai positiivisen päätöksen, joten YTERA aloittaa toimintansa vuoden 2012 alusta.

Ydinvoiman turvallinen käyttö vaatii syvällistä tietämystä, taitoa ja osaamista sekä rakentamiseen ja käyttöön että käytöstäpoistoon ja ydinjätehuoltoon liittyvistä asioista koko laitoksen pitkän eliniän ajan. Kansallisen tohtoriohjelman tehtävänä on vastata tähän haasteeseen ja saada alan tutkijoiden ja erityisasiantuntijoiden koulutusta kehitettyä systemaattisemmaksi, korkeatasoisemmaksi ja kestoaltaan hallituksi.

Yliopistopartnerien lisäksi YTERAan osallistuvat VTT, STUK, Fennovoima, Fortum, Posiva ja TVO.

Lisätietoja:

<https://into.aalto.fi/display/fidoctora...t+ohjelmat>

Erkki Laurila -kirjoittaja-palkinto Antti Hakolalle

ERKKI LAURILA -kirjoittajapalkinto vuoden 2010 parhaasta ATS Ydintekniikka -artikkelista luovutettiin vuosikokouksessa 8.3.2011 Antti Hakolalle, joka toimii tutkijana VTT:llä.

Palkinnonsaajan valinnan teki lehden toimituskunta ja seuran johtokunta vahvisti päätöksen.

ANTTI HAKOLAN artikkeli "Kiinteä aine ja kuuma plasma kohtaavat: ITERin ensiseinä ja sen materiaalit" julkaistiin lehden numerossa 4/2010.

Siinä kerrottiin fuusiotutkimuksen kovimmista haasteista tieteellisestä näkökulmasta, mutta kuitenkin niin, että myös maallikkolukija tuntee saavansa riittävästi irti.

Jutun esitystapaa pidettiin yhtä aikaa tarkkana ja elävänä ja sen kieliasua moitteettomana.

Erkki Laurila -palkinto on jaettu vuodesta 2001 alkaen.



Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoiston suunnittelu

Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoiston suunnittelu aloitettiin hetken valmistumisen jälkeen ja suunnittelu jatkuu käytön loppumiseen saakka. Uusien voimalaitosyksiköiden käytöstäpoiston suunnittelu aloitetaan jo rakennusvaiheessa.

Edellinen Loviisan ydinvoimalaitoksen käytöstäpoistosuunnitelman päivitys tehtiin vuonna 2008 ja seuraava tehdään vuonna 2012. Tämän jälkeen työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) päätöksen mukaan päivitetty käytöstäpoistosuunnitelma toimitetaan viranomaisen tarkastettavaksi ydinenergiain mukaisesti kuuden vuoden välein.

Käytöstäpoistosuunnittelu on viranomaisvaatimusten mukaista toimintaa. Voimayhtiöt varautuvat tuleviin jätehuoltokustannuksiin maksamalla jätehuollon vaatimat varat valtion ydinjätehuoltorahastoon, jolla varmistetaan, että rahastossa on aina varat jo kertyneiden ydinjätteiden huollon sekä ydinvoimalaitosten käytöstäpoiston suorittamiseksi. Käytöstäpoistosuunnitelman sisällön vaatimukset on esitetty ydinvoimalaitosohjeissa (YVL-ohjeissa).

Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoisto

Fortum Power and Heat Oy:n omistamat voimalaitosyksiköt Loviisa 1 ja Loviisa 2 sijaitsevat Hästholmenin saarella n. 12 km:n päässä Loviisan kaupungin keskustasta.

Loviisa 1 -voimalaitosyksikön kaupallinen käyttö aloitettiin vuonna 1977 ja Loviisa 2 -voimalaitosyksikön vuonna 1981. Valtioneuvoston vuonna 2007 myöntämä käyttö lupa on voimassa LO1:n osalta vuoden 2027 ja LO2:n osalta vuoden 2030 loppuun saakka.

Ensimmäinen alustava Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoistosuunnitelma valmistui jo hyvin pian laitoksen käynnistyttyä vuonna 1982.

Seuraavat yksityiskohtaisemmat suunnitelmat tehtiin vuosina 1987, 1993, 1998, 2003 ja 2008 eli noin viiden vuoden välein.

Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoistosuunnitelman lähtökohtana on laitosisyköiden välitön purku tehokäytön päättämisen jälkeen. Käytön päättymistä seuraa kuitenkin kahden vuoden valmisteluaika ennen varsinaisten purku-urakoiden aloittamista. Valmistelujakson aikana käyttöorganisaatio tekee valmisteleviä töitä, jotta varsinaiset purkutööt voitaisiin suorittaa.

Käytetty polttoaine siirretään reaktorirakennuksen altaista polttoainevarastoon, prosessit tyhjenetään ja suoritetaan tarpeelliset dekontaminoinnit sekä rakennetaan tarvittavat kuljetusaukot suurten laitteiden ja komponenttien siirtoa varten.

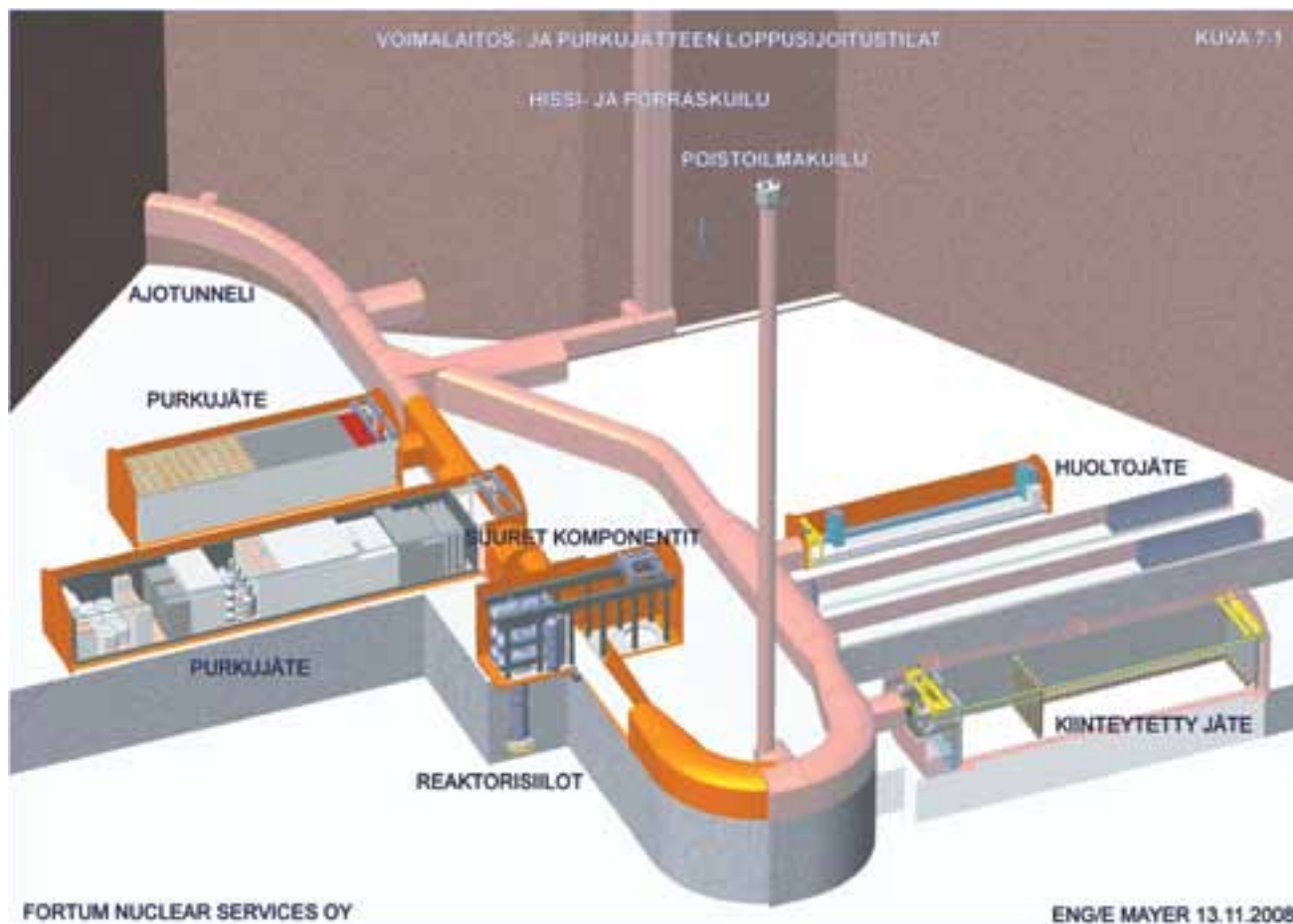
Purkutöiden lähtökohtana on siirtää suuret komponentit, kuten reaktoripaineastiat ja höyrystimet, kokonaisina loppusijoitustiloihin. Näin vältetään suurilta paloittelutöiltä ja säästetään aikaa sekä välteään säteilyannoksia.

Myös muut käytöstäpoistotoimenpiteet optimoidaan säteilysuojauksen suhteen käyttäen ALARA-periaatetta.

VALMISTELUVAIHEEN TYÖT on suunniteltu tehtäväksi oman laitoshenkilökunnan toimesta. Varsinaiset suuret purku-urakat hoidetaan urakoitsijoiden toimesta laitoshenkilökunnan johdolla. Purettaessa laitosisyköt peräkkäin voidaan Loviisa 1:n töistä saatuja kokemuksia käyttää hyödyksi purettaessa Loviisa 2:ta.

Käytöstäpoistotyöt on suunniteltu tehtäväksi nykyisin käytössä olevien työmenetelmien ja laitteiden avulla. Kuitenkin koko ajan seurataan työmenetelmien kehittymistä ja suunnitelmia muutetaan laitteiden kehittyessä.

Myös muualla tehtyjen purkutöiden kokemuksia käytetään hyväksi suunnitelmiin päivittämisessä



Käytöstäpoistojätteen loppusijoitustilat tullaan rakentamaan Loviisan voimalaitosjätteen loppusijoitustilojen yhteyteen.

Jätteiden loppusijoitus

Loviisan voimalaitoksen käytön aikana syntyneet vähä- ja keskiaktiiviset jätteet sijoitetaan kallioperään rakennettuihin tiloihin. Tilat sijaitsevat maan alla noin 110 metrin syvyydessä.

Käytöstäpoiston aikana syntyvät purkujätteet sijoitetaan niille rakennettaviin tiloihin voimalaitosjätetilojen yhteyteen. Maan alle louhitaan tilat kokonaisina sijoitettaville komponenteille, betoni- ja puulaatikkoihin pakatulle purkujätteelle, tynnyreihin pakatulle huoltojätteelle sekä kiinteytysjätteille, jotka on pakattu betonisiin jäteastioihin.

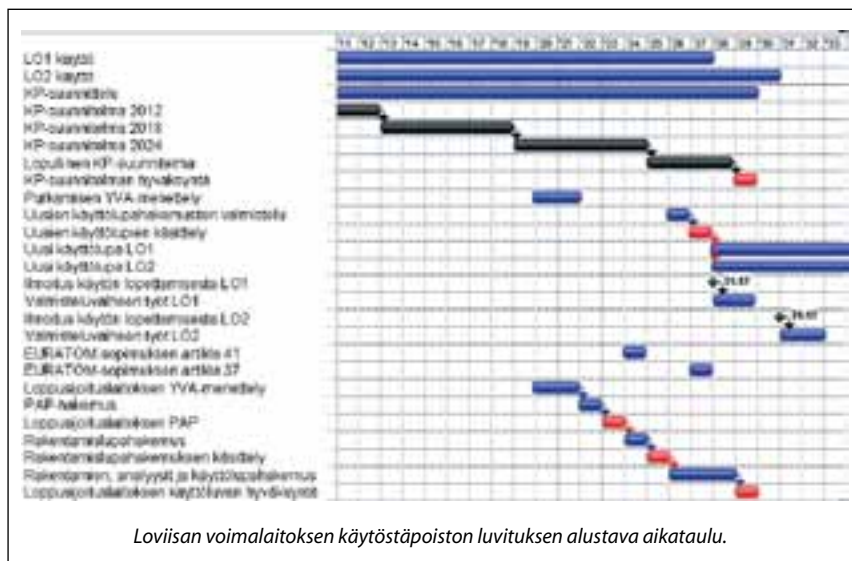
Käytöstäpoiston aikana syntyvää purkujätettä kertyy tämänhetkisen arvion mukaan noin 19800 t, jonka kokonaistilavuus pakattuna on noin 29900 m³. Huoltojätetyynyreiden määräksi on arvioitu 5044 ja kiinteytysjäteastioiden 680 kappaletta. Käytöstäpoistokustannuksiksi on arvioitu 320 miljoonaa euroa (2010).

Käytöstäpoiston lisensointi

Loviisan voimalaitos on suunniteltu purettavaksi välittömästi käytön päättymisen jälkeen, mikä merkitsee sitä, että käytöstäpoistoon liittyvä luvitus tulee aloittaa hyvissä ajoin ennen käytön päättymistä.

Lisäksi on huomattava, että vaikka laitosta ei käytettäisi sähköntuotantoon, myös sen hallussapito edellyttää asianmukaisia lupia. Käytöstäpoistojätteen loppusijoitus tiloihin, jotka on suunniteltu louhittavaksi voimalaitosjätteen loppusijoitustilan yhteyteen, edellyttää erillistä luvitusta.

Koska käytöstäpoiston vaatimaa luvitusta ei Suomessa ole aikaisemmin tehty, ei siitä myöskään ole kokemusperäistä tietoa saatavilla. Osittain toimenpiteet vastaavat kuitenkin uusien voimalaitosten luvitusta, käyttöilupien uudistamista sekä ydinjätteiden loppusijoitustilojen luvitusta, joista saadut kokemukset on hyvä ottaa huomioon luvituksen suunnittelussa. Lainsäädännöllisenä pohjana luvitukselle ovat ydinenergialaki ja -asetus, sekä niiden pohjalta annetut ohjeet. Nykyisten voimalaitosyksiköiden käyttöä lähestyessä loppuaan



Loviisan voimalaitoksen käytöstäpoiston luvituksen alustava aikataulu.

säännöstö ja ohjeisto tulee täydentymään ja tarkentumaan näiltä osin.

Voimalaitosyksiköiden purkaminen

Ensimmäinen merkittävä lupamenettely voimalaitosten purkamisessa on ympäristövaikutusten arviointi (YVA), joka tehdään, koska ympäristövaikutusten luonne muuttuu. YVA tehdään hyvissä ajoin ennen purkamisen aloittamista.

Voimalaitoksen purkamiseen haetaan uusi käyttöluva, koska laitoksen käyttötapa muuttuu. Uusi käyttöluva käsittää myös itenäistettävät laitososat sekä jätevarastot.

Voimalaitosyksiköiden käytön lopettamisesta ilmoitetaan välittömästi työ- ja elinkeinoministeriölle sekä Säteilyturvakeskukselle. Samassa yhteydessä esitetään suunnitelmat käytöstäpoiston valmistelutöistä.

Lopullinen käytöstäpoistosuunnitelma toimitetaan viranomaisille viimeistään kahden vuoden kuluttua käytön lopettamisesta. Samassa yhteydessä toimitetaan vaaditut turvallisuus selvitykset. Voimalaitosyksiköiden purkaminen aloitetaan vasta, kun suunnitelmat ja selvitykset on hyväksytty.

Loppusijoitustilojen luvitus

Luvituksen vaatimien selvitysten määrä on suuri, joten on hyvä yhdistää haku- ja käsittelyprosesseja. Nykyisten voimalaitosjätetilojen laajentamista varten tehtävä YVA

tehdään samanaikaisesti purettavien voimalaitosyksiköiden YVA:n kanssa.

Käytöstäpoistojätteen loppusijoituslaitos on yleiseltä merkitykseltään huomattava ydinlaitos, joten sille on haettava periaatepäätöstä valtioneuvostolta. Periaatepäätöksen jälkeen haetaan rakentamislupaa ja sen yhteydessä tehdään EURATOM-sopimuksen artiklan 41 mukainen ilmoitus Euroopan komissiolle suuresta investoinnista.

Asianmukaisten loppusijoitustilojen rakentamisen jälkeen haetaan kyseisten tilojen käyttöluvaa ja tehdään EURATOM-sopimuksen artiklan 37 mukainen ilmoitus Euroopan komissiolle radioaktiivisten jätteiden loppusijoituksen vaikutuksista. Käyttöluvan saamiseksi täytyy mm. tehdä turvallisuus selvityksiä rakennetuille tiloille sekä päivittää käytöstäpoistosuunnitelma.

YVA:n, periaatepäätöksen, rakentamisluvan sekä käyttöluvan käsittelyajat ovat pitkiä, joten niihin tulee valmistautua hyvissä ajoin ennen varsinaisen käytöstäpoiston aloittamista. Oheisessa kuvassa esitetty aikataulu on nykyisten suunnitelmien mukainen, mutta siihen voi tulla muutoksia käytöstäpoiston lähestyessä.



Supervision of decommissioning of Ignalina NPP

In May 2004 VATESI agreed on the Final Plan of Ignalina NPP Decommissioning. The plan covered the entire decommissioning process, which had been divided into individual decommissioning projects. Every project had to be coordinated with appropriate institutions, and its safety had to be justified. All decommissioning operations, organizational, technical and radiation protection measures were included into the scope of the project, dismantling and decontamination methods were identified, equipment and tools necessary for the works and the conditions of their use were described, and methods of radioactive waste management were set forth. The safety analysis report confirmed that individual decommissioning works and the process as a whole will be safe.

On 31 December 2009, in accordance with the Protocol for Admission of the Republic of Lithuania to the European Union, Unit 2 was finally shut down. As of late 2009, all nuclear fuel was unloaded from reactor core of Ignalina NPP Unit 1.

In 2009 Ignalina NPP was further implementing the projects for decontamination and dismantling of unnecessary equipment at Ignalina NPP Unit 1. VATESI revised and approved the technical design and safety justification report for equipment dismantling and decontamination of building 117/1 at Unit 1, where high pressure emergency cooling systems of the reactor had been installed. In 2010 Ignalina NPP got licence to implement project B9-0, that is dismantling and decontamination of equipment of building 117/1 at Unit 1. In 2010 Ignalina NPP finished all preparation works in building 117/1 at Unit 1 and in 4-th quarter of 2010 has started decontamination and dismantling activities in this building. As of late 2009, Ignalina NPP



Bird's eye view to Ignalina NPP. (Source: www.iae.lt)

State enterprise Ignalina NPP, as the organization operating this nuclear facility, is responsible for the safe decommissioning, decontamination and dismantling of equipment as well as for the management of radioactive waste. Every nuclear facility has to undergo the stage of decommissioning. This stage, starting from preparation of decommissioning projects and finalized by specific decommissioning works, must be conducted in a safe manner. VATESI licenses these activities, analyses safety of the projects, and arranges special expertise of the projects in terms of nuclear safety.

submitted the technical design and safety justification report for decommissioning works in the final shutdown and fuel unloading phase of Ignalina NPP Unit 2. VATESI revised and approved the technical design and safety justification report for decommissioning works in the final shutdown and fuel unloading phase of Ignalina NPP Unit 2 in 2010. In middle of 2010 Ignalina NPP submitted the technical design and safety justification report for Ignalina NPP Unit 1 turbine hall equipment decontamination and dismantling. VATESI revised and provided their comments on these documents. In second part of 2010 Ignalina NPP submitted the technical design and safety justification report for Ignalina NPP boiler house equipment dismantling and decontamination. VATESI revised and provided their comments on these documents.

In 2010 the works related to the construction of the new spent nuclear fuel storage facilities and other radioactive waste management equipment were continued. In 2009 VATESI examined the documents submitted by Ignalina NPP and issued licenses for the construction of the new spent nuclear fuel storage facility and solid radioactive waste management facilities, approved the technical design and the preliminary safety analysis report for the storage facility of very low activity radioactive waste that had been submitted by Ignalina NPP. As of late 2009, Ignalina NPP provided the technical design and the preliminary safety analysis report for the repository of very low activity radioactive waste and waste retrieval from the existing storage facilities that are being examined by VATESI; the inspectorate's comments on these documents were provided in 2010.

Management of radioactive waste

In accordance with the Radioactive Waste Management Strategy approved by the Government in 2008, Ignalina NPP is responsible for the implementation of a new classification system of radioactive waste,

and has to install equipment for conditioning of radioactive waste, storage facilities of radioactive waste as well as the repositories of short-lived radioactive waste.

Considerable amounts of solid radioactive waste have been generated during operation of Ignalina NPP. The waste is stored in the buildings located in the territory of Ignalina NPP – 155, 155/1, 157 and 157/1. The volumes of solid radioactive waste accumulated by 2010 are presented in the below Table:

Volumes of waste accumulated as of 1 January 2010 (m ³)		
Groups of waste	Group 1	11 483
Combustible	Group 1	8 287
Incombustible	Group 2	2 203
Combustible	Group 2	2 823
Incombustible	Group	3 829
Total		25 625

Liquid radioactive waste has been also generated at Ignalina NPP. It is evaporated in special evaporation facilities, and the evaporation residue is bituminized. The steam that is generated following evaporation is filtered through special ion exchange and perlite filters that retain radionuclides. The filters are then cemented.

In 2009, 683 m³ of bituminized waste was placed in the radioactive waste storage facility (building 158). By 2010, 13 963 m³ of bituminized waste was accumulated in this storage facility. In 2009, 207.35 m³ of ion exchange resins and perlite was conditioned in the cementation facility; total conditioned quantity was 494.44 m³. In 2009, 2197 cemented waste packages (drums) were produced that are stored in the cemented waste storage facility (building 158/2). In all, 5337 cemented waste packages were produced by 2009.

In accordance with the operational license conditions of Ignalina NPP Unit 1, the operation of solid radioactive waste storage facilities is permitted till 1 January 2011. With an aim to extend the operation of these storage facilities (buildings

155, 155/1, 157, 157/1), in September 2009, Ignalina submitted to VATESI the updated safety analysis report for its review and evaluation.

To manage solid radioactive waste located at Ignalina NPP in line with the latest requirements, it is necessary to retrieve the waste from the storage facilities, to process and to prepare the waste for disposal. In November 2009, Ignalina NPP submitted to VATESI for its review the technical design for solid waste retrieval from 155-155/1 buildings and a sorting facility of very low activity radioactive waste (B2 project, part 1). In July 2010 Ignalina NPP submitted to VATESI for its review the technical design for solid waste retrieval from 157-157/1 buildings. The submitted documents are being reviewed by VATESI.

As of late 2008, Ignalina NPP submitted the technical design of a repository for radioactive waste of very low activity and a preliminary safety analysis report that VATESI reviewed together with experts and provided their comments. After the analysis of answers to these comments, on 29 September 2009 VATESI approved the technical design. In October 2009 Ignalina NPP submitted the technical design and the preliminary safety report for the repository (project B 19-2). These documents are being reviewed by VATESI.

Operating spent nuclear fuel storage facility

In February 2009 VATESI issued a permit for loading and storage of 12 additional containers of CONSTROR RBMK-1500 type at the dry interim storage facility of spent nuclear fuel (building 192). During 2009, 10 containers of CONSTOR RBMK-1500 type were delivered to the dry interim storage facility of spent nuclear fuel. As of late 2009, in total there were 112 stored containers with 51 spent nuclear fuel assemblies releasing heat in each of (20 of



Ignalina NPP heat Power Station (building 119) after dismantling. (Source: www.iae.lt)

CASTOR RBMK type and 92 of CONSTOR RBMK-1500 type). The dry interim storage facility of spent nuclear fuel is fully loaded now.

New spent nuclear fuel storage facility (project B1)

On 2 September 2009, VATESI issued a license to Ignalina NPP for the construction of a new spent nuclear fuel storage facility.

The license was issued subject to certain conditions that will have to be implemented prior to starting the operation of this storage facility. According to one of these conditions Ignalina has to prepare and to get approved a separate project according to which not only the leakproof fuel assemblies but also the damaged ones will have to be managed and stored at the new storage facility. During the construction of the storage facility, Ignalina NPP will have to ensure adequate physical protection of the construction site, to install the relevant security systems. Moreover, the power plant will have to prove that the qualification and number of the subcontractors' organizations are sufficient for performing complex works.

The start-up of operation of the new spent nuclear fuel storage facility is scheduled for 2011; the spent nuclear fuel will be

stored for a 50-year period. The storage facility will be constructed in the territory of Ignalina NPP, in Visaginas municipality.

At the interim solid radioactive waste storage facility with an area of 7.6 thousand square meters, in the CONSTOR RBMK1500/M2 type containers produced in Germany (each of them has the height of 4.5 meters, diameter - 2.6 meters, mass - 73 tons, when loaded with radioactive waste - 116 tons) the remaining amount of the spent nuclear fuel that has been accumulated in the course of operation of the nuclear power plant will be stored. It is being planned to load 91 spent nuclear fuel assemblies into one container, and to store 201 containers at the storage facility.

Solid radioactive waste management facilities (project B3/4)

On 27 August 2009, VATESI issued a license to Ignalina NPP for the construction of new solid radioactive waste management facilities.

Ignalina NPP prepared the technical design of waste processing and storage facilities as well as a preliminary safety analysis report (project B3/4). VATESI and other experts, upon having reviewed the submitted documents, provided their comments and subsequently analysed the an-

swers given to their comments, and in the end of 2008 approved the project. On 27 August 2009 a license was issued to Ignalina NPP for the construction of the mentioned management facilities of solid radioactive waste.

The license was issued subject to certain conditions that will have to be implemented prior to starting the operation of these facilities. In the course of construction, Ignalina NPP will have to ensure adequate physical protection of the construction site, to install the relevant security systems. Moreover, the power plant will have to prove that the qualification and number of the subcontractors' organizations are sufficient for performing specific works, and to provide in advance to VATESI the plans - schedules for inspecting progress in the constructions works and equipment surveys.

At the solid radioactive waste management facilities, all solid radioactive waste that has been accumulating in the course of operation and decommissioning of Ignalina NPP will be processed in line with the currently valid international requirements, and then stored for approx. fifty years. The start-up of operation of the new processing facilities of solid radioactive waste in the existing territory of Ignalina NPP is scheduled for 2012.

Solid radioactive waste is the waste that has been accumulated at a nuclear power plant, such as cable cuts, filters, parts of repaired equipment, construction rubbish, rubber and thermal insulation materials, worn-out equipment, pipes, construction elements of fuel assemblies, fuel channels, sensors, etc. Spent nuclear fuel will not be managed in this facility; a separate storage facility (project B1) will be used for this purpose. ■

*Jolanta Tumašaitė
Chief specialist
State Nuclear Power Safety
Inspectorate (VATESI)
j.tumasaite@vatesi.lt*

Ydinlaitosten käytöstäpoisto – katsaus Yhdysvaltoihin



Viime vuosina Suomessa on puhuttu paljon uusien ydinvoimaloiden rakentamisesta, johtuen luonnollisesti Olkiluoto 3 -projektista sekä heinäkuussa 2010 tehdyistä uusista periaatepäätöksistä. Uusien ydinlaitosten rakentamissuunnitelmien temmellyksessä saattaa unohtua se tosiasia, että laitos kohtaa myös käyttöiänsä lopun. Tätä, erilaista asiantuntemusta ja useita tekniikan osa-alueita yhdistävää ja hyväksikäytävää, osakokonaisuutta kutsutaan ydinlaitoksen käytöstäpoistoksi.

Savannah Riverin tutkimuslaitosalue sijaitsee Etelä-Carolinassa aivan Georgian rajalla. Alueen koko on mittavat 310 neliömailia (noin 803 km²).

Ydinlaitosten käyttöikä vaihtelee maailmalla suuresti. Syy tähän on joissain maissa poliittinen, jolloin melko uusiakin laitoksia saatetaan sulkea ja käytöstäpoistaa. Useasti ydinlaitoksen käyttöikä kuitenkin on melko pitkä, 40-60 vuotta. Tällöin erittäin merkittävään osaan nousee purkamistekniikoiden ja käytöstäpoiston tietotaidon jakaminen globaalisti. Yksi tähän tarkoitukseen luoduista asi-

antuntijaryhmistä on Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestön (OECD) alaisen ydinenergiajärjestön NEA:n koordinoima ryhmä WPDD (Working Party of Decommissioning and Dismantling). Ryhmään kuuluu OECD -jäsenvaltioiden edustajia, niin operaattori- kuin viranomaispuolelta. Osallistujat ryhmään nimeää se ministeriö, jonka toimialaan ydinenergia kuuluu. Suomessa tämä ministeriö on työ- ja elin-

keinoministeriö. Tällä hetkellä WPDD -ryhmään kuuluu Suomesta edustaja Säteilyturvakeskuksesta, Fortumista ja Teollisuuden Voimasta.

Ydinvoiman historiaa Yhdysvalloissa

1900-luvun vaihteessa Yhdysvalloissa alkoi systemaattinen radioaktiivisten malmien tutkinta ja louhinta. Uraanimalmin ominai-

suuksien tunnistaminen aloitti kilpajuoksun tutkijoiden ja valtioiden välillä siitä, kuka ensimmäiseksi pystyisi valjastamaan ytimessä piilevän energian hyötykäyttöön. Vaikkakin saksalaiset **Otto Hahn** ja **Fritz Strassman** löysivät fissioreaktion vuonna 1939, niin ensimmäinen toimiva reaktori sai alkunsa **Enrico Fermi**n johdolla Yhdysvalloissa vuonna 1942.

Ensimmäisten ydinreaktorien selkeä tavoite oli tuottaa ydinaseeseen kelpaavaa uraania tai plutoniumia, myöhemmin myös tritiumia. Tällaisen 1955 ensimmäisen kerran kriittisyyden saavuttaneen ja tuotantonsa 1985 lopettaneen reaktorin WPDD -ryhmä pääsi näkemään vierailullaan Savannah Riverin tutkimusalueella South Carolinassa. Tällä hetkellä Savannah River -alueen toiminta on painottunut vetyprosessien tutkimiseen. Nykyisin polttoaine-elementit säteilytetään kaupallisissa reaktoreissa. Ainoastaan tritium erotetaan SRS:n alueella. Hupaisa yksityiskohta tämän reaktorin osalta oli se, että nykyisin käytöstäpoistettuna reaktorin valvomo toimii vartijoiden värikuula-ammuntojen harjoituskenttänä. Toisaalta tämä myös osoittaa sen, että vaikka voimalan käyttö ydinlaitoksena on loppunut, niin asianmukaisen ja huolellisen käytöstäpoistoprojektin jälkeen tiloja on myös mahdollista käyttää uudelleen.

Ydinlaitosten käytöstäpoisto Yhdysvalloissa

Yhdysvalloissa Department of Energy (DOE) hallinnoi yhteensä yli 1000 ydin- tai radioaktiivisten aineiden käsittelylaitosta ja 100 tutkimusreaktoria. Nopeasti voidaan nähdä, että määrät ovat moninkertaiset Suomen kuin myös usean Euroopan maan tilanteeseen verrattuna. Tämä tarkoittaa myös sitä, että käytöstäpoistoprojektien määrä tulee olemaan Yhdysvalloissa suuri. Suurimpia eroja Suomen tilanteeseen nähden on myös se, että DOE toimii käytöstäpoistohankkeissa ns.itseään valvovana operaattorina.

DOE:n hallinnoimien kohteiden lisäksi Yhdysvaltain säteilyturvaviranomainen

Nuclear Regulatory Commission (NRC) on vastuussa yhteensä noin 200 käyttöluvan päättymisestä vuosittain. Meneillään olevia käytöstäpoistoprojekteja on useita, viidessä eri kategoriassa. Nämä sisältävät 12 ydinvoimalaa, 12 tutkimus- ja testireaktoria, 19 materiaalin tuotantolaitosta, 32 uraanin käsittelylaitosta ja yhden polttoaineen käsittelylaitoksen. Vuosien 2005–2010 aikana toiminta loppui yhteensä seitsemällä tehoreaktorilla. Näistä tunnetuin lienee Trojan, jonka käytöstäpoistoprojekti loppui vuoden 2005 toukokuussa.

Mitä opimme?

WPDD-seminaariin osallistuminen antoi erinomaisen tilaisuuden oppia ja asettaa Suomen käytöstäpoistohankkeet perspektiiviin muun maailman ja erityisesti Yhdysvaltain kanssa.

Seminaarin esityksissä ja keskusteluissa kuultiin kokemuksia muilta mailta, ja myös Suomessa valittuja käytöstäpoistostrategioita koskevia näkökohtia. Eräs tärkeä aihe oli kokemukset laitosten turvallisuudesta säilyttämisestä ennen käytöstäpoiston aloittamista. Yleinen mieleen jäänyt vaikutelma oli, että liiallisella odottelulla ongelmia alkaa kasaantua: putket ja tankit ruostuvat, betoni rapautuu, laitostuntemus katoaa, vastuukantajaa ei löydy...

Näiden keskustelujen jälkeen Suomen maakatsauksessa todettiin, että kaikesta huolimatta Olkiluodon 1- ja 2-reaktorille valittu viivästetty käytöstäpoistostrategia. Perusteet tälle valinnalle ovat kuitenkin vahvat. Vanhemman sukupolven laitokselle viivästyksellä saavutettava aktiivisuuden pienentyminen on ilman muuta etu, kun huomioidaan, että käytöstäpoistoa ei ole täysin huomioitu suunnittelussa. Osaamisen säilyminen taas taataan sillä, että samalla laitospaikalla jatkuu ydinvoimalaitostoiminta myös viivästysjakson aikana. Synergiaetu, joka saavutetaan usean laitoksen kampanjanomaisella purkamisella, kirjattiinkin lopulta kokouksen pöytäkirjan suosituksiin.

Verrattaessa Yhdysvaltojen laajoihin käytöstäpoistotarpeisiin yhdistyneenä poli-

tisoitumiseen erityisesti loppusijoituksen osalta vaikuttaa Suomen tilanne suorastaan ongelmattomalta. Suomessa ei myöskään ole odotettavissa laajoja maaperän puhdistus operaatioita pohjaveden suojaamiseksi, jotka ovat työllistäneet Yhdysvaltojen käytöstäpoistohankkeita.

Kallioperäloppusijoituskonseptimme on suoraviivainen ja turvallisuusarvioin hyväksyttäväksi osoitettu. Savannah Riverissä toteutettu "In-Situ Decommissioning" tarkoitti polttoaineen poistamista ja dekontaminointia sekä lopuksi aktivoituneiden osien täyttämistä betonilla. Sadeveden pois ohjaamiseksi lisättiin kriittisiin kohtiin uusia kattorakenteita. Turvallisuusarvioin riitti osoittaa annosrajoissa pysyminen tuhanen vuoden ajaksi ja jälkivalvonta voitiin olettaa määräämättömäksi ajaksi.

In-Situ-käytöstäpoisto herätti eurooppalaisissa kokousedustajissa monia kysymyksiä. Usein käytetty termi tälle lähestymistavalle on "entombment", jota ei juurikaan ole Euroopassa laajamittaisesti harkittu.

Kieltämättä heräsi ajatus, että Suomen käytöstäpoistosuunnitelmat ovat selkeästi vastuullisempia. Toisaalta jo monesti mainittu Yhdysvaltojen käytöstäpoistotehtävien määrä ja laajuus tekevät heidän lähestymistapansa ymmärrettäväksi.

1900-luvulla tehty pioneerityö, josta Savannah Riverin alue on hyvä esimerkki, on luonut pohjaa meidänkin osaamiselle ja lähestymistavoillemme niin turvallisuuden kuin yleensä koko ydintekniikan alueella.

FM Henri Niittymäki
Tarkastaja
Ydinjätteiden ja
ydinmateriaalien valvonta
STUK
henri.niittymaki@stuk.fi



TkL Pekka Viitanen
Säteilyturvallisuusjaoksen
päällikkö
TVO
pekka.viitanen@tvo.fi



Talkoilla opiskelijat ja asiantuntijat mukaan ydinjätehuollon alalle



Vuonna 2010 Aalto-yliopistolla järjestetyn Ydinjätehuollon pilot-kurssin osallistujia. Vasemmalta: Jaakko Leino, Silja Häkkinen, Olli Nummi, Seppo Kasa, Tomas Niemi, Maarit Yli-Kaila, Mira Markovaara-Koivisto (koordinaattori), Jutta Peura, Sonja Sireni, Emmi Myllykylä, Arto Saarnio, Tiina Heikola, Janne Viertävä, Lauri Uotinen, Joonas Järvinen, Merja Tanhua-Tyrkkö (takana), Sara Kärki, Janne Vahero, Topias Siren, sekä suunnitteluryhmän jäsenet Marjatta Palmu ja Mikael Rinne. Kuvasta puuttuu Marjaana Vainio-Mattila ja Jukka Tanskanen.

Koko ydinjätehuollon kattavalle avoimelle kurssille on havaittu selkeää kysyntää alan organisaatioissa. Vuonna 2010 päästiin sanoista tekoihin ja järjestettiin ydinjätehuollon pilot-kurssi kahden ja puolen päivän mittaisena.

Suomessa ydinjätealan koulutus on ollut varsin hajanaista ja kukin toimija on kouluttanut omat asiantuntijansa. Vuonna 2008 käynnistyi Kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelman (KYT2010) piirissä Aalto-yliopiston avustuksella suunnittelutyö, jonka tarkoituksena on kehittää kansallinen, koko ydinjätehuollon kattava avoin kurssi.

Suunnittelussa huomioitiin mahdollisuus lisätä Ydinjätehuollon kurssi Aalto-yliopiston kurssivalikoimaan, jolloin se soveltuisi myös jatko-opiskelijoille. Vuonna 2010 kurssi järjestettiin ensimmäisen kerran kahden ja puolen päivän mittaisena pilot-kurssina osana KYT-ohjelmaa ja vuonna 2011 on tarkoitus laajentaa koulutus viisi-päiväiseksi.

Koulutuksen tarkoitus

Ydinjätehuoltoalan tuleva ammattilainen on usein riippuvainen lähimmästä esimiehestään ja kollegoistaan keskeisen alaan liittyvän tiedon hankinnassa. Hänelle ei

välttämättä ole vielä kertynyt kontakteja ja kokonaiskäsitys alasta ei ole vielä jäsentynyt tai sen kokonaislaajuus monitieteellisenä tutkimusalueena ei ole vielä hahmotunut. Kotimaisella ja kansainvälisellä pelikentällä toimivat tahot eivät välttämättä ole vielä tuttuja.

Omalta vasta rekrytoidulle henkilökunnalleen ja yhteistyökumppaneilleen mm. Posiva Oy:ssä on järjestetty alalle perehdyttävää koulutusta jo vuodesta 2003 lähtien "Johdatus käytetyn polttoaineen turvallisuuden arvioinnin perusteisiin" eli ns. Ydinjätehuollon peruskurssin muodossa. Tämä alun perin viiden päivän mittainen kurssi laajennettiin vuonna 2006 kahdeksan päivää kestäväksi (katso tarkemmin ATS Ydintekniikka 3/2006). Nyt Aalto-yliopistossa järjestetyn kurssin tarkoituksena on tuoda alalle vastaavaa kaikille avointa koulutusta.

Huoli ydinvoima-alan ja ydinjätehuollon alan nykyisen ja tulevaisuuden työvoiman saatavuudesta on suuri jo mo-

nissa Euroopan maissa. Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) asetti lokakuussa 2010 työryhmän valmistelemaan toimenpiteitä ydinvoima-alan osaamisen varmistamiseksi Suomessa. Asiantuntijoiden saatavuuden kartoitus on osa tätä tehtävää. Työvoiman saatavuuteen liittyy myös lähiaikoina eläkkeelle siirtyvien asiantuntijoiden tietämyksen säilyttäminen ja siirtäminen nuorelle tutkijapolvelle.

Yhtenä onnistuneena esimerkkinä sukupolven vaihdoksesta on Teknologian tutkimuskeskus VTT:n reaktorifysiikan asiantuntija **Markku Anttilan** ja nuoren tekniikan tohtorin, **Silja Häkkisen**, yhteistyö reaktorifysiikan ja ydinpolttoaineen kierrätysmenetelmien saralla. Anttila on valmistanut Häkkistä ottamaan vastuun laskennallisiin menetelmin kehittyneisiin polttoainekiertoihin perehtyvistä KYT2014-hankkeesta. "Markku on opastanut minua myös perusasioissa, kuten laskentaohjelmien käytössä," Häkkinen kertoo.

Aalto-yliopisto, Helsingin yliopisto ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto ovat esittäneet uuden ydintekniikan ja radio-kemian tohtorihjelman (YTERA) perustamista. Tohtorihjelman päätutkimusalueet liittyisivät keskeisesti mm. ydinpolttoainekiertoon, ydintekniikkaan, ydinjätteen loppusijoitukseen, transmutaatioon, ympäristöön, ydinturvallisuuteen ja sosioekonomisiin kysymyksiin.

YTERA:n mahdollinen alkaminen Suomen Akatemian rahoituksella avaisi jatko-opiskelijoille tervetulleita kanavia päästä alan tutkijakoulutukseen ja tutustua muihin tutkijoihin.

Kulissien takana

Vuonna 2008 **Jaana Avolahti** (Työ- ja elinkeinoministeriö), **Kaisa-Leena Hutri** (Säteilyturvakeskus) ja **Marjatta Palmu** (Posiva Oy) ideoivat erillisen Ydinjätehuollon yliopistotason kurssijakson järjestämistä alan vasta-alkajille. KYT2010-ohjelman kautta he saivat työhönsä mukaan Aalto-yliopistosta professori **Jussi Leveisen** ja tohtorikoulutettava **Mira Markkovaara-Koiviston** kurssia koordinoimaan. Kurssiohjel-

maa hahmoteltiin ja kurssi päätettiin järjestää ensimmäisen kerran jo saman vuoden syksyllä.

Työryhmä kutsui kokoon eri organisaatioiden edustajia: **Kari Rasilaisen** (VTT), **Sami Hautakankaan** (Fortum Power and Heat), **Juhani Hyvärisen** (Fennovoima), **Anssu Ranta-ahon** (TVO) ja **Mikael Rinteen** (Aalto-yliopisto). Kurssin sisällöllisiä vaatimuksia tarkennettiin vielä monen viikon ajan tämän työryhmän kesken.

Hyvässä yhteishengessä organisaatioita tarjoutui asiantuntijoita luennoimaan muutaman kuukauden varoitusajalla.

VTT:n edustaja ilmoitti kurssilaisten olevan tervetulleita tutustumaan heidän laboratoriotiloihinsa sekä Otaniemessä sijaitsevaan tutkimusreaktoriin. Myös Fortumin Loviisan voimalaitosjäteluolien ovet ovat auki kurssilaisille, mutta sinne saakka matkaamme mahdollisesti vasta seuraavalla kurssilla.

Ydinjätehuollon pilot-kurssin 2010 luentosarjan ja opintoretken toteuttamiseen osallistui asiantuntijoita useilta eri tahoilta. Ydinvoiman tuottajista mukana olivat TVO, Fortum Power and Heat ja Fennovoima. Viranomaisia edustivat Säteilyturvakeskus ja Työ- ja elinkeinoministeriö. VTT ja Aalto-yliopisto esiintyivät asiantuntijaorganisaation roolissa ja Posiva Oy käytetyn polttoaineen loppusijoittamisen toimijana. Kurssi-ilmoitusta alettiin levittää organisaatioiden sisällä ja osallistumisilmoituksia alkoi ropista kurssin koordinaattorin sähköpostiin.

Kurssilaiset kokoontuvat

Syksyn kurssille kokoontuiluentotalkoisiin osallistuneista organisaatioista 20 tulevaa asiantuntijaa ja jatko-opiskelijaa. Asiantuntijoita ja opiskelijoita kannustettiin kurssin aikana myös verkottumaan muiden osallistujien, luennoitsijoiden sekä kurssin järjestämiseen osallistuneen työryhmän jäsenten kanssa. Porkkanana kepin päässä oli kurssin laajuutta mittaava opintopiste, jonka jatko-opiskelijat voivat sisällyttää opintoihinsa.

Kurssin sisältö koostui neljästä aihepiiristä: ydinpolttoainekierto ja ydinjätteet,

ydinjätehuollon perusteet, voimalaitosjätehuolto ja voimalaitoksen käytöstäpoisto, ja käytetyn polttoaineen huolto. Luentomateriaalin lisäksi kurssilaisille jaettiin verkottumisen tueksi suomalaisen ydinjätehuollon aihekenttien "kartta", johon oli sijoitettu kurssin osallistujat, luennoitsijat sekä suunnitteluryhmän jäsenet.

Osallistujat olivat tyytyväisiä kurssin laajuuteen. Lisäkoulutusta toivottiin kuitenkin mm. polttoaineen korkeamman palaman aiheuttamasta koostumuksen muutoksesta ja sen vaikutuksesta loppusijoittamiseen. Tällaisten syvälle menevien aiheiden läpikäyminen voitaisiin toteuttaa esim. erillisten kurssien muodossa vaihtuvaisältöisen jatko-opintokurssin muodossa Aalto-yliopistolla.

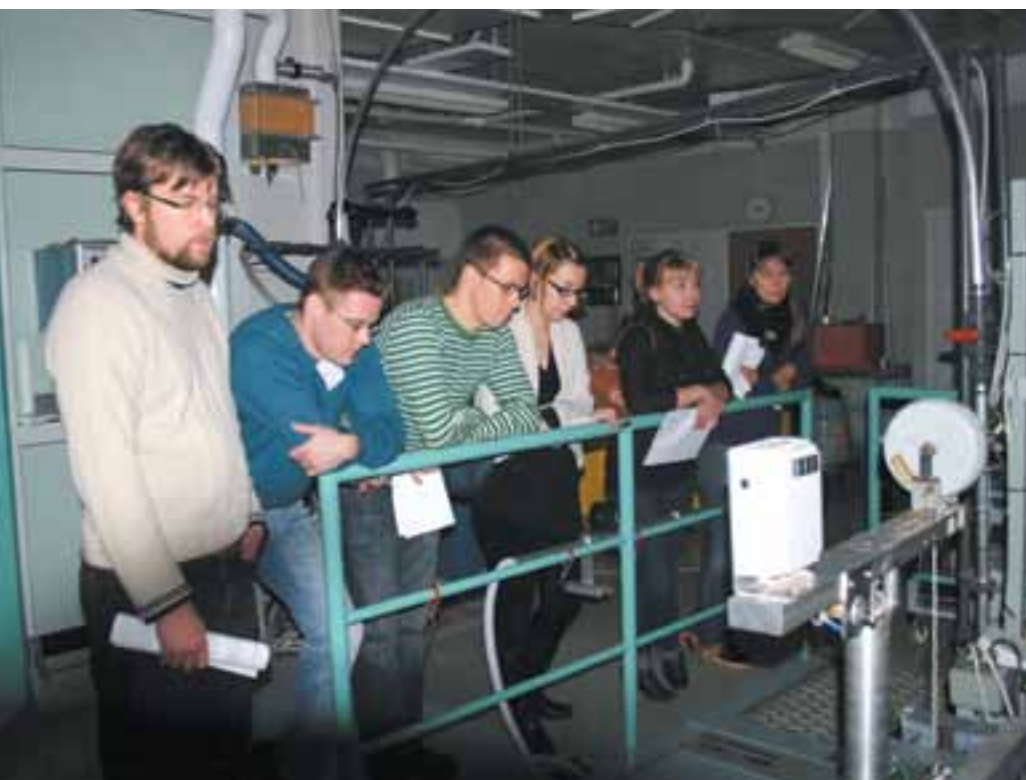
Kurssilaiset pääsivät tutustumaan VTT:n Otaniemen laboratorioihin, joissa tehdään käytetyn polttoaineen loppusijoitukseen liittyviä tutkimuksia, sekä tutustuttiin FiR 1 -tutkimusreaktoriin. Kurssilaisia kiinnosti erityisesti hapettomassa tilassa tehtävät kuparin korroosiotutkimukset sekä bentoniitin kemiallista puskurointikykyä mittaavat tutkimukset.

Katse kohti tulevaisuutta

Ydinjätealan tulevien ammattilaisten perehdyttäminen ei lopu tähän. Ydinjätehuollon kurssi on suunniteltu järjestettäväksi vuosittain Aalto-yliopistolla kaikille avoimena kurssina. Osallistumismaksu tulee riippumaan opiskelijan kotiorganisaation panostuksesta kurssin luentojen järjestämiseen.

Kurssin odotetaan myös rohkaisevan tutkijoita ja asiantuntijoita osallistumaan Kansallisessa ydinjätehuollon tutkimusohjelmassa (KYT) tehtävään tutkimukseen, ja antavan eväitä osallistua mm. KYT-seminareihin.

Aalto-yliopisto on mukana ENEN-verkostossa (European Nuclear Education Network) sekä EURATOMin ja komission rahoittamassa 7. puiteohjelman geologisen loppusijoituksen koulutuksen kehittämishankkeessa Petrus II yhdessä Posivan kanssa. Näiden verkostojen kautta suomalaisil-



Ekskursiolla Otaniemen FIR 1-tutkimusreaktorissa.

la opiskelijoilla ja asiantuntijoilla on mahdollisuus päästä hakemaan lisäkoulutusta myös ulkomailta. Petrus II -hankkeen on tarkoitus mahdollistaa eurooppalaisten opiskelijoiden vapaa liikkuminen ydinjätehuollon ylempään perustutkinnon ns. Mas-

ter-tason koulutuksessa, joka järjestetään yhdessä useiden eri yliopistojen ja koulutuslaitosten kesken, sekä kehittää toimintamalli geologisen loppusijoituksen ammatilliseen täydennyskoulutukseen. ■

Kurssin ja ekskursioiden esitelmien pitäjät:

Ydinpolttoainekierto ja ydinjätteet

Arto Isolankila (STUK)

Ydinjätehuollon perusteet

Jaana Avolahti (TEM)
Markku Anttila (VTT)
Kaisa-Leena Hutri (STUK)
Kai Hämäläinen (STUK)

VTT:n laboratorio- ja tutkimusreaktoriekskursio

Torbjörn Carlsson (VTT)
Kari Rasilainen (VTT)
Joonas Järvinen (VTT)
Riitta Zilliacus (VTT)

Voimalaitosjätehuolto ja käytöstäpoisto

Jari Tuunanen (Fortum Power and Heat Oy)
Tapani Eurajoki (Fortum Power and Heat Oy)

Käytetyn polttoaineen huolto

Juha Poikolainen (TVO)
Siegfried Hannemann (Fennovoima)
Tiina Jalonen (Posiva Oy)
Marja Vuorio (Posiva Oy)
Jussi Leveinen (Aalto-yliopisto)

Tiina Heikola (VTT)
Kaija Ollila (VTT)
Petri Kotiluoto (VTT)

*DI Mira Markovaara-Koivisto
Aalto yliopiston
insinööritieteiden korkeakoulu
Tutkija
Georakentaminen
mira.markovaara-koivisto@tkk.fi*

*DI, MBA Marjatta Palmu
Posiva Oy
Vanhempi asiantuntija
Tutkimus
marjatta.palmu@posiva.fi*

*FT Kaisa-Leena Hutri
STUK
Kehityspäällikkö
Ydinjätteet ja ydinmateriaalit
kaisa-leena.hutri@stuk.fi*

*FM Jaana Avolahti
Työ- ja elinkeinoministeriö,
Energiaosasto
Neuvotteleva virkamies
Ydinjätehuolto
jaana.avolahti@tem.fi*

*TkT Mikael Rinne
Aalto-yliopiston
insinööritieteiden korkeakoulu
professori
kalliorakentaminen
mikael.rinne@tkk.fi*

*TkT Kari Rasilainen
Teknologian tutkimuskeskus VTT
Johtava tutkija
Ydinjätehuolto
kari.rasilainen@vtt.fi*

*TkT, dosentti
Juhani Hyvärinen
Fennovoima
Ydinturvallisuusjohtaja
juhani.hyvarinen@fennovoima.fi*

*FT Jussi Leveinen
Aalto yliopiston
insinööritieteiden korkeakoulu
Professori (Teknillinen geologia)
Georakentaminen
jussi.leveinen@tkk.fi*

Olkiluodon VLJ-luolan käyttökokemuksista

Voimalaitoksen käytön aikana ja huolloissa syntyvää jätettä kutsutaan voimalaitosjätteeksi, joka jaotellaan matala- ja keskiaktiiviseen jätteeseen. Matala-aktiivinen jäte on sekajätettä, johon on tarttunut radioaktiivisia aineita. Näitä jätteitä ovat mm. palokan-kaat, huoltotöissä kertyvät suo-jamuovit ja suojavaatteet sekä laitokselta käytöstä poistetut koneenosat ja putket. Keskiaktiivinen jäte puolestaan on pääosin prosessiveden puhdistuksessa syntyvää käytettyä suodatinmas-saa eli ioninvaihtomassaa.



Näkymä Olkiluodon voimalaitosjätteen loppusijoitustilan (VLJ) MAJ-siiloon. (Kuva: TVO)

Olkiluodossa edellä mainitut voimalaitosjätteet loppusijoitetaan voimalaitosjäteluolaan (VLJ-luola). Luolan suunnittelu aloitettiin paikatutkimuksilla vuonna 1980 ja se sai käyttöluvan vuonna 1992. Tässä artikkelissa käsitellään luolan käytön periaatteita ja lähes 20 vuoden aikana kertyneitä käyttökokemuksia. Tulevaisuudessa, kun Olkiluodon ydinvoimalaitoksen käyttö aikanaan päättyy, luola laajennetaan siten, että sinne voidaan sijoittaa myös voimalan purkujätteet.

Jätteiden luokittelu ja käsittely

Kuivia radioaktiivisia jätteitä, kuten muovi-, paperi-, kangas-, metalli-, puu-, yms. jätteitä, syntyy laitoksilla pääasiassa huolto-, korjaus- ja puhtaanapidon seurauksena. Nämä ns. huoltojätteet kerätään muovisäkkeihin

ja lajitellaan niiden annosnopeuden perusteella. Määritellyn annosnopeuden alittavat säkit jatkokäsittellään valvonnasta vapautettavaksi kaatopaikkajätteeksi kun taas annosnopeuden ylittävien säkkien sisältö lajittelun jälkeen pakataan puristimella tynnyreihin. Täytetyt tynnyrit puristetaan erityisellä tynnyripuristimella noin 50 % tilavuuteen ja pakataan betonilaatikoihin.

Laitosten prosessijärjestelmistä syntyneen metalliromun pakkaaminen tapahtuu pääosin keskiaktiivisten jätteiden (KAJ) varastolla, jossa myös suurikokoiset komponentit paloitellaan. Metalliromu pakataan VLJ-luolaan meneviin betonilaatikoihin, jotka peitetään metallikannella. Joissakin tapauksissa romu pakataan ensin teräslevystä tehtyyn kannelliseen laatikkoon. Betonilaatikon täyttöasteen parantami-

seksi putket ja muut tilavuudeltaan suuret romut puristetaan kasaan 200 tonnin hydraulipuristimella ja paloitellaan metalliromuleikkurilla. Em. komponenttien paloitelu voidaan tehdä myös muulla tarkoitukseen sopivalla menetelmällä. Pienromun, kuten peltilevyjen, puutavaran, kaapelien yms. paloitelu suoritetaan erityisellä metalliromun murskaimella, jossa syntyneellä murskeella voidaan tarvittaessa täyttää betonilaatikoihin sijoitettavien tynnyrien väliin jäävää tyhjää tilaa ja täten optimoida betonilaatikoiden täyttöastetta.

Reaktorihallin vesialtaissa säilytettävät keski- ja matala-aktiiviset romut pakataan paloitellun jälkeen kannellisiin teräs-laatikoihin, jotka kuljetetaan KAJ-varastolle betonilaatikkoon edelleen pakattavaksi. Suurten komponenttien ollessa kysees-

sä paloitetut osat pakataan suoraan betonilaatikoihin.

Märkiä jätteitä ei loppusijoiteta sellaiseenaan VLJ-luolaan, vaan ne kiinteytetään ja sekoitetaan sideaineen kanssa yhtenäiseksi, homogeeniseksi tuotteeksi tynnyrissä, minkä jälkeen niitä käsitellään kuten kiviä jätteitä. Ioninvaihtomassat sekoitetaan bitumin kanssa ja haihdutinkonsentraatit sekä tankkien pohjalietteet erikoissemennin kanssa.

Matala- ja keskiaktiivista voimalaitosjätettä sisältävät tynnyrit ja teräslaatikot kuljetetaan betonilaatikoissa ilman pölykantta kuljetussuojan sisällä VLJ-luolan jätehalliin. Pakkauksetonta romua kuljetettaessa käytetään betonilaatikon päällä pölysuojakantta. Jätehallissa kuljetussuoja avataan ja betonilaatikot nostetaan jätessiiloihin kauko-ohjatusti siltanosturilla.

Turvallisuus käytön aikana

Jätepakkausten kuljetus VLJ-luolaan ja jätteiden loppusijoittaminen siiloihin on suunniteltu siten, että jätteen sisältämät radioaktiiviset aineet eivät aiheuta vaaraa työntekijöille tai ympäristölle. Jätepakkaukset kuljetetaan vetoauton kuljetusalustalla teräksisessä kuljetussuojassa, joka vaihtelee jätteestä lähtevän säteilyn riittävän pieneksi. Kuorman purkamisen aikana hallissa ei oleskella.

Turvallisuuteen vaikuttavat valvonnan ja käyttötoiminnan toimenpiteet suoritetaan ohjeissa määriteltyjen menettelytapojen ja vaatimusten mukaisesti. Jätteiden kuljetusta suorittavalla henkilöllä on voimassa oleva vaarallisten aineiden kuljettajan koulutustodistus, ns. ADR-ajolupa, joka on uudistettava viiden vuoden välein.

Säteilyvalvonta

Pintakontaminaation esiintyminen VLJ-luolassa on epätodennäköistä, mutta jonkin poikkeavan tilanteen takia kuitenkin mahdollista. Kontaminaatiosuoja seurataan säteilyvalvonnan tekemillä mittauksilla, joissa kuitenkin ei luolan tähänastisen käytön ole havaittu kontaminaatiota. Luolan valvonta-alueelta poistuttaessa teh-



Olkiluodon voimalaitosjätteen loppusijoitus-tilan (VLJ) MAJ-siilon säteilysuojat. Taustalla näkyvät jätepakkausten kuljetuslavetti ja nosturi. (Kuva:TVO)

dään kontaminaatiomittaus, jossa ei myöskään ole todettu luolasta peräisin olevaa radioaktiivisuutta. Voidaan todeta, että VLJ-luolassa ei kontaminaatiosta ole aiheutunut vaaraa työntekijöille, vierailijoille tai ympäristölle.

VLJ-luolan säteilytasoja seurataan myös säteilyvalvonnan tekemillä mittauksilla. KAJ- ja MAJ-siiloja sekä Olkiluodon VLJ-luolassa sijaitsevaa valtion pienjätteiden varastoa lukuun ottamatta VLJ-luolan huoneilat on luokiteltu vihreiksi tiloiksi joissa annosnopeus on alle 25 $\mu\text{Sv/h}$. Säteilyn yleistaso on KAJ-siilon suojakansien päällä noin 300 $\mu\text{Sv/h}$ ja MAJ-siilon kansien päällä noin 1 $\mu\text{Sv/h}$. Normaalisti näissä paikoissa ei työskennellä. Jätehallin annosnopeutta seurataan myös jatkuvatoimisilla sä-

teilymittareilla, joiden tulostukset ja hälytykset on liitetty VLJ-luolan valvontajärjestelmään.

VLJ-luolassa työskentelevien säteilyannoksia seurataan TL-dosimetrien avulla. Koska normaalista käytöstä aiheutuvat annokset jäävät luolassa vähäisiksi, ei työkohtaisten annosten kirjaamista elektronisten dosimetrien avulla VLJ-luolan osalta rutiininomaisesti tehdä. Henkilöstön VLJ-luolassa saamat säteilyannokset sisältyvät siten ydinvoimalaitosyksiköitten OL1 ja OL2 annoksiin. VLJ-luolan koko käytön aikana kertyneen kollektiivisen annoksen arvioidaan olevan välillä 5-10 mmanSv ja suurimpien henkilöannosten alle 0,5 mSv. Jätekuljetuksien aiheuttamat annokset ovat mukana näissä annoksissa. Voidaan todeta, että VLJ-luolan käytöstä aiheutuneet annokset ovat hyvin pienet verrattuna esimerkiksi ydinvoimalaitosten käytöstä aiheutuviin annoksiin tai säteilytyöntekijöiden vuosiansosrajaan, joka on 50 mSv vuodessa.

Suosittu vierailukohde

VLJ-luolasta ei tähänastisen käytön aikana ole havaittu havaintorajan tai toimenpiderajan ylittäviä radioaktiivisia päästöjä. Voidaan todeta, ettei VLJ-luolan tähänastisella käytöllä ole ollut ympäristövaikutuksia säteilyturvallisuuden kannalta.

VLJ-luola on myös suosittu vierailukohde. Vierailijoiden säteilynsuojelu on helppo järjestää, koska luola ei ole radioaktiivisesti kontaminoitunut ja säteilytasot ovat alhaiset. VLJ-luolassa käyvien vierailijoiden säteilyaltistusta seurataan elektronisilla ryhmädosimetreillä. Vierailijoiden luolasta saamat annokset ovat olleet hyvin pienet, korkeimmillaankin muutaman μSv :n luokkaa.

TkL Pekka Viitanen
Säteilyturvallisuusjaoksen
päällikkö
TVO
pekka.viitanen@tvo.fi



Voimalaitosjätteen loppusijoitukseen liittyvät tutkimus- ja kehityshankkeet Olkiluodossa

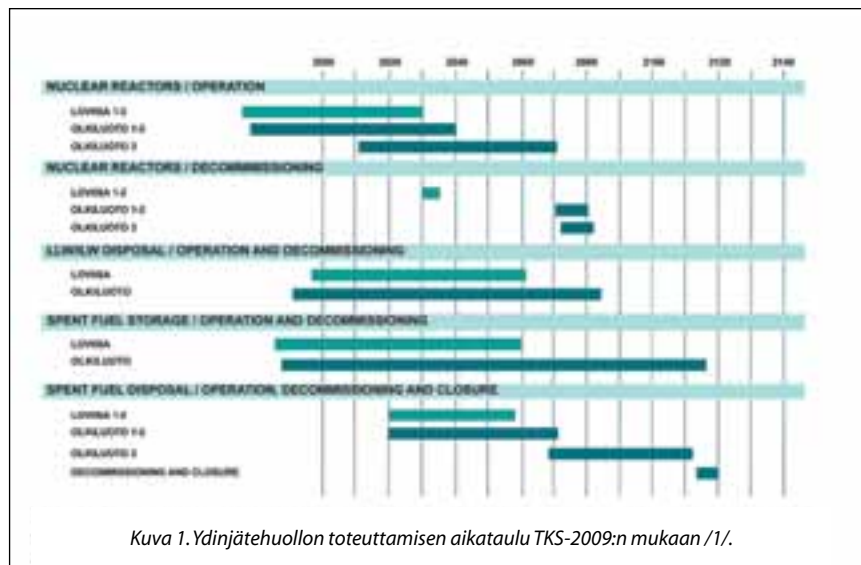
Ydinjätehuollon järjestämisessä on erotettavissa kolme päävaihetta: käsittely, välivarastointi ja loppusijoitus. Kuvassa 1 on esitetty ydinjätehuollon toteuttamisen aikataulu.

Olkiluodon ydinvoimalaitoksilla syntyy käytetyn polttoaineen lisäksi matala- ja keskiaktiivista jätettä (matala-aktiivinen jäte, MAJ ja keskiaktiivinen jäte, KAJ). Jäte syntyy kunnossapidon ja korjaustöiden yhteydessä, käsittäen erilaisia materiaaleja (muovi, paperi, metalli, puu ja erityyppiset henkilökohtaisiin suojaimiin käytetyt materiaalit). Lisäksi jätettä syntyy erilaisista vedenkäsittelyjärjestelmistä (ioninvaihtohartsit ja haihdutuksessa muodostuvat tiivisteet). Tyypillinen käytöstä syntyvän jätteen vuosikertymä nykyisiltä laitoksilta on 100-200 m³.

Matala-aktiivinen jäte puristetaan

Suurin osa käytössä syntyvästä jätteestä pakataan suoraan käsiteltäväksi, varastoitavaksi ja poistettavaksi. Puristettava MAJ pakataan jätetyynyreihin hydraulisella puristimella, jonka jälkeen tynnyrit puristetaan puoleen niiden korkeudesta, pitäen niiden halkaisija alkuperäisenä. Puristamiseen sopimaton MAJ pakataan ruostumatomiin terässäiliöihin tai betonissäiliöihin ja jätetyynyreihin. Jotkut metallikomponentit, esim. putket, voidaan puristaa kokoon ennen pakkaamista tilavuuden pienentämiseksi. Viime vuosina jätteenkäsittelyä on kehitetty useiden teknisten parannusten avulla.

VLJ-luolan yleisrakenne, huomioiden suunnitellut laajennukset, on esitetty kuvassa 2. Laitos koostuu maanpäällisestä valvomorakennuksesta, ajotunnelista, lou-



Kuva 1. Ydinjätehuollon toteuttamisen aikataulu TKS-2009:n mukaan /1/.

Ydinjätehuollon vaatimusten lähtökohtana on turvallisuus siten, että jätteet voidaan eristää elollisesta luonnosta. Ydinjätteiden loppusijoitus suunnitellaan siten, että loppusijoituksen turvallisuus ei edellytä valvontaa. TVO on saanut luvan voimalaitosjätteen loppusijoitukselle (VLJ) Olkiluotoon v. 1992. Nyt varaudutaan uusien laitosten OL3 ja OL4 tarpeisiin. Sekä loppusijoitustoiminta että sen laajentaminen edellyttävät suunnitelmallista tutkimusohjelmaa ja sen toteuttamista.

hintatunnelista, kuilusta, matala-aktiivisten jätteiden siilosta (MAJ-siilo), keskiaktiivisten jätteiden siilosta (KAJ-siilo), siilojen yläpuolisesta nosturihallista sekä aputiloista. Jättesiilot lähiympäristöineen on esitetty tarkemmin kuvassa 3.

Voimalaitosjätteiden loppusijoituksessa varaudutaan tilojen laajentamiseen myös purkujätteille ja käytetyille reaktorin sisäosille. Suoritettujen analyysien mukaan nämä jätteet voidaan loppusijoittaa turvallisesti VLJ-luolan yhteyteen rakennettaviin siiloihin.

VLJ-luolassa tehtävä tutkimus

VLJ-luolan käyttö, laajentaminen sekä tuleva luolan sulkeminen edellyttävät jatkuvaa seuranta- ja tutkimustyötä. Käytön aikainen seuranta tapahtuu kalliomekaanisin sekä hydrologisin ja geokemiallisin mittauksin. Jätteen käyttäytymistä sulkemisen jälkeen ja rakenteiden pitkäaikaiskestävyyttä tutkitaan erillisin koesarjoin, joita toteutetaan sekä pilot-mittakaavan laitteistoilla että kallioperässä tehtävillä pitkäaikaiskokeilla. Kaikki koetoiminta on vuoden 2010 aikana siirretty VLJ-luolan tiloihin.

VLJ-luolan kallioperän käytönaikainen monitorointi

Voimalaitosjätteiden loppusijoitustilan kalliotilojen käytönaikainen kalliomekaaninen ja hydrologinen seuranta toteutetaan vuosille 2006-2017 laaditun kallioperän tutkimus- ja seurantaohjelman mukaisesti. Tämän avulla varmistetaan tietoja VLJ-luolan turvallisuusanalyysiä varten ja seurataan kallion käytönaikaista pysyvyyttä. Tulokset VLJ-luolan kalliomekaanisesta ja hydrologisesta monitoroinnista raportoidaan vuosittain.

Kallioperän pysyvyyttä on seurattu VLJ-luolan louhintatöiden alkuvaiheista lähtien jatkuvilla kalliomekaanisilla mittauksilla /3/. Mittaukset tehdään kallioon asennettujen ekstensometrien avulla sekä luolan ajo- ja louhintatunneliin sijoitettujen konvergenssimittapulttien jännevälin muutosten mittauksilla. Lisäksi määrävuosina tehdään keskiaktiivista voimalaitosjätettä sisältävän KAJ-siilon kallistuma- ja painumamittaukset ja VLJ-luolan katon ruiskubetonipinnan tarkastus.

Keväällä 1993 VLJ-luolan tutkimustunneliin asennettiin kymmenen tutkimuspulttia kallion lujitukseen käytettyjen pulttien korroosionopeuden selvittämiseksi. Tutkimuksen tavoitteena on saada tietoa sinkittyjen kallion lujituspulttien korroosionkestosta Olkiluodon VLJ-luolan olosuhteissa sillä oletuksella, että kalliopultteja suojaava sementtilaasti on menettänyt täysin suojausominaisuutensa. Ensimmäinen tutkimuspultti irtokairattiin vuonna 1996 ja seuraava vuonna 2004. Tulosten perusteella korroosionopeus on toistaiseksi todettu mitättömäksi.

VLJ-luolan hydrologista seuranta toteutetaan vuosittain tarkkailemalla poistopumppujen ja mittapatomittauksien avulla luolasta ulospumpattavan vuotovesivirtaaman määrää ja laatua. Pitkän ajan tulokset osoittavat kokonaisvuotovesivirtauksen olevan laskusuunnassa. Pohjaveden hydraulista korkeutta ja luolan pohjaveteen aiheuttamia kemiallisia muutoksia tarkkailaan VLJ-luolan automaattisilla pohjavesiasemilla sekä manuaalisilla mittauspisteillä.

VLJ-luolan pohjavesiasemilta (PVA) otettavilla mittauksilla seurataan VLJ-luolan toiminnan aiheuttamia vaikutuksia pohjavesiolosuhteisiin. Tutkimuspaikoiksi poratuista kairanrei'istä seurataan myös vesikemian muutoksia (pH, happipitoisuus, redoxpotentiaali ja johtokyky). Kuukauden välein tehtävien manuaalisten veden pH- ja johtokymmittauksien lisäksi suoritetaan vuosittain kuukauden kestävä jatkuva veden laadun kennostomittaus. Analyysit varmistetaan vuosittaisilla laboratorioanalyysillä.

Myös ilmanlaatua tutkitaan VLJ-luolassa. Mittaukset käsittävät radon-, lämpötila-, kosteus- ja CO₂-mittaukset. Lisäksi seurataan luolan poistoilman radioaktiivisuutta.

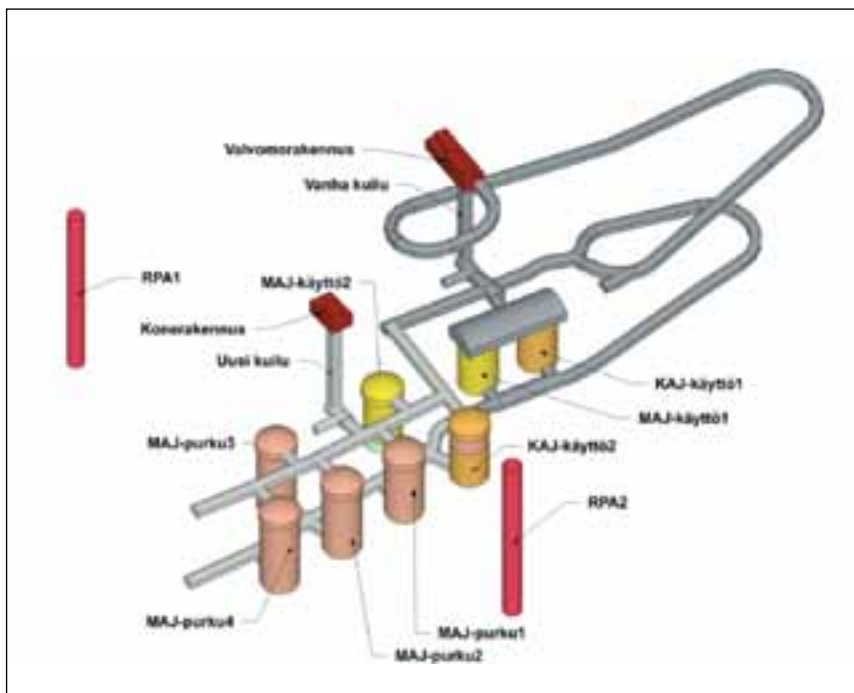
Kaasunkehityskoe

VLJ-luolaan on rakennettu erillinen koelaitteisto, jolla voidaan simuloida tilannetta MAJ-siilossa luolan sulkemisen jälkeen, jolloin koko luolasto on suljettu ja täytetty vedellä. Tällä kaasunkehityskokeella on tutkittu matala-aktiivisen jätteen mikrobiologista hajoamista loppusijoitusolosuhteissa vuodesta 1997 alkaen. Kokeessa jäte on sijoitettu tilavuudeltaan noin 20 m³ kokoisen vesitätetyn koetankin sisälle teräksisiin tynnyreihin ja betonilaatikkoon pakattuna. Laitteisto on esitetty kuvassa 3.

Tutkimuksella saadaan tietoa huoltojätteessä muodostuvan kaasun määrästä ja muodostumisnopeudesta sekä lisätään tietämystä mikrobien toiminnan vaikutuksesta hajoamistapahtumaan olosuhteissa. Lisäksi tutkimuksessa seurataan aktiivisuuden siirtymistä jätetyynyreistä ympäröivään veteen.

Tuloksia on käytetty VLJ-luolan turvallisuusanalyysissä, jossa tarvitaan tietoa huoltojätteen kaasunkehitysnopeudesta. Pitkällä aikavälillä kaasunkehitysnopeus on ollut luokkaa 60–90 dm³/kk, mikä on noin kertaluokkaa alhaisempi kuin alkuperäisessä turvallisuusanalyysissä arvioitiin.

Kaasunkehityskokeen jatkamiselle on STUK:in lupa vuoteen 2017 saakka. Jatkossa, tulee arvioitavaksi koelaitteiston ja jätemateriaalin kattavan mikrobiologisen ana-



Kuva 2. VLJ-luolan rakenne ja muutossuunnitelmat. VLJ-luolan käytössä olevaan osaan (käyttö1) kuuluu kaksi siiloa. OL3:n ja OL4:n käytön aikana rakennetaan kaksi uutta siiloa (käyttö2). Kun voimalaitosyksiköitä poistetaan käytöstä, rakennetaan purkujätteille ja reaktoripaineastioiden loppusijoitukselle erilliset pystysiihot (purku)/2/.



Kuva 3. Olkiluodon VLJ-luolassa sijaitseva kaasunkehityskoelaitteisto.

lysoinnin tarve. Matala-aktiivisen huoltojätteen kaasunkehitysnopeudesta tehdystä mallinnustyöstä on tehty myös kansainvälinen julkaisu /4/

Betonin pitkäaikaiskestävyys

TVO ja Fortum Power & Heat Oy käynnistivät yhteistyönä vuonna 1997 betonirakenteiden pitkäaikaiskäyttämistä tutkivan hankkeen. Pilot-mittakaavan hanke on ollut käynnissä vuoden 2010 joulukuuhun asti Myyrmäessä, josta se siirrettiin VLJ-luolan tutkimustilaan.

Tutkimuksen perusteella arvioidaan betonin pitkäaikaiskäyttämisen vaikutusta radionuklidien liukoisuuteen ja kulkeutumiseen loppusijoitusolosuhteissa sekä rapautumista käyttöolosuhteita vastaavissa kallio-pohjavesiolosuhteissa. Tavoitteena on selvittää vallitsevissa olosuhteissa parhaiten kestävät betonikoostumukset, joilla pystytään täyttämään VLJ-luolalle asetetut 60 vuoden käyttöikävaatimukset. Lisäksi luodaan tietoa betonimateriaalien pitkäaikaiskestävyyden mallinnukseen.

Merkittävimmät betonin vauriomekanismit ovat karbonatisoituminen, rapautuminen ja loppusijoitustilojen sulkemisen jälkeinen pohjaveden aggressiivisten ionien aiheuttama betoni-teräskorroosio. Koe-

ohjelmassa vertaillaan yhdeksää erilaista koebetonilajia, joissa muuttujina ovat sideainetyyppi ja betonin vesi-sideainesuhde. Myös merivesiliuoksia on eri koostumusta, joissa Na_2SO_4 ja NaCl pitoisuudet sekä näiden yhdistelmät $\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ kanssa vaihtelevat.

Simuloiduissa merivesiolosuhteissa oleville koebetoneille toteutettiin koepaikan siirron yhteydessä syksyllä 2010 laaja näytteenotto (betoni- ja liuosnäytteet). Betoninäytteistä tutkitaan aggressiivisten ionien tunkeutumaprofiilit sekä mikrorakenteen ja lujuusominaisuuksien muutokset. Tämä koeaineisto on ainutkertaista kokeen pitkän keston ja laajan koematriisin ansiosta. Pitkäaikaiskestävyyksikokeiden tuloksia on annettu KYT2010-ohjelman käyttöön ja niitä tarjotaan myös tulevalle KYT2014-ohjelmalle.

Pilot-kokeen lisäksi vastaavia koekappaleita tutkitaan todellisissa kallio-pohjavesiolosuhteissa Olkiluodon VLJ-luolan louhintatunnelissa olevissa kairanrei'issä. Myös kairanrei'issä olevista betonikoekappaleista otetaan näytteitä betonitekniisiä peruskokeita sekä aggressiivisten ionien tunkeutuma-analyysijä ja mikrobiologisia määrittäjä varten erillisen koeohjelman mukaisesti.

Purkujättemetallien liukeneminen

Purkujättemetallien liukeneminen on vuonna 1998 käynnistetty tutkimushanke, jonka tarkoituksena on tutkia TVO:n voimalaitosyksiköiden rakenteissa käytetyn hiilliteräksen korroosionopeutta Olkiluodon VLJ-luolan sulkemisen jälkeisissä olosuhteissa. Hiilliterästä käytetään pääasiassa voimalaitoksen paineastia- ja suojarakennuksen höyryputkimateriaalina.

Tutkimushanke toteutetaan sekä laboratoriossa simuloidussa olosuhteissa (VTT:n seurantatutkimus) että todellisissa kallio-pohjavesiolosuhteissa Olkiluodon VLJ-luolan louhintatunnelinkairanrei'isiin sijoitettujen hiilliteräsnäytteiden avulla. Lisäksi yhdessä kairanrei'ässä on myös sinkkilevy- ja sinkkipinnoitettuja teräsvälynäytteitä. Kairanrei'ien vedestä ja näytekappaleista otetaan näytteitä VTT:n tekemiä mikrobiologisia määrittäjä ja painohäviökokeita varten..

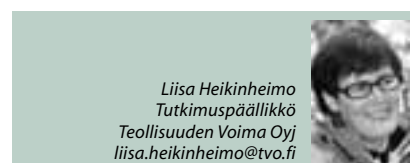
Lähdeviitteet:

Posiva, 2009. TKS-2009 Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto, Selvitys suunnitelluista toimenpiteistä ja niiden valmistelusta vuosina 2010-2012. Posiva Oy.

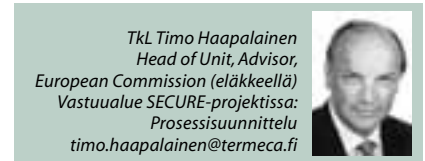
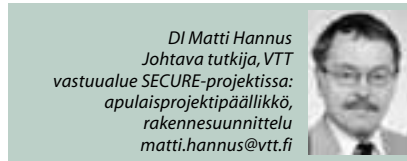
Posiva, 2009b. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto, Yhteenveto vuoden 2009 toiminnasta. Posiva Oy.

Öhberg, A., Johansson, E., Anttila, P., & Saari, J., To be published in 2011. Two decades of rock monitoring experiences at the two underground repositories for operating waste in Finland. World Tunnel Congress 2011.

Small J., Nykyri, M., Helin, M., Hovi, U., Sarlin, T. & Itävaara, M., 2008. Experimental and modelling investigations of the biogeochemistry of gas production from low and intermediate level radioactive waste. Applied Geochemistry 23, 1383-1418.



Liisa Heikinheimo
Tutkimuspäällikkö
Teollisuuden Voima Oyj
liisa.heikinheimo@tvo.fi



Länsinaapurin lämmitysreaktorikeikka

1970-luvun puolivälissä ydinenergia-ala eli Suomessa vahvaa nousukautta, ja alalle tuli paljon nuorta väkeä töihin. Samaan aikakauteen ajoittui mm. VTT:n kasvaminen pienehköstä, pitkälti testaustoimintaan keskittyneestä laitoksesta täysiveriseksi tutkimuslaitokseksi. Suomen teollisuus pyrki kehittämään ydinenergiaosaamistaan kaikilla rintamilla, yhtenä osana Finnatom Oy:n perustaminen. 1970-luvun loppupuoliskolla toteutettiin suomalaisten ja ruotsalaisten yhteistyönä kaukolämmön tuotantoon tarkoitettun Secure-lämmitysreaktorin suunnittelu. Seuraavassa otteita siitä, mitä jäi muistikortille, kun kolme (jutun alussa esiteltyä) herrasmiestä kokoontui 30 vuotta myöhemmin muistelemaan projektia, johon nuorina ydinteknikkoina pääsivät osallistumaan..

Projektin käynnistyminen

KK: Kuinka sinä tähän projektiin päädyit? Olit jo valmiiksi Ruotsissa..

MH: Vuonna -73 olin VTT:llä vierastutkijana. Siihen aikaan ruotsalaiset olivat reaktoripaineastioiden hankinnassa riippuvaisia amerikkalaisista ja käynnistämässä projekteja, jossa selvitetäisiin betonista tehdyn paineastian soveltuvuutta kiehutusvesireaktoreihin. Englannissa oli 50-luvulta lähtien tehty suuria kaasujäähdytteisiä reaktoreja, joissa oli teräsvuorattu betonipaineastia. Sellaisellahan voi tehdä kuinka isoja rakenteita vaan. TKK:lta ehdotettiin minua tähän projektiin. Projektissa oli Ruotsista mukana AB Atomenergi ja ASEA, Tanskasta Risö ja Norjasta Halden. Siitä tuli 2-vuotinen projekti, jonka päätösvaiheessa ruotsalainen Uddeholms AB päätyi kimppaan Combustion Engineeringin kanssa, minkä jälkeen teräspaineastioita alkoi löytymään Ruotsistakin.

KK: Ja samaan aikaan..

MH: Niin, samaan aikaan oli tämä Secure-projekti käynnistymässä. VTT YDI:ssä oli lämmitysreaktoriasiantuntija **Risto Tarjanne**, jolle oli juuri avautumassa professuuri Lappeenrannasta, ja **Juhani Kuusi** rupesi ehdottamaan minua projektiin mukaan.

KK: Oliko tittelisi "varaprojektipäällikkö"?

MH: Se se oli, mutta kyllähän **Kåre Hannerz** sen kokonaisuuden hallitsi ja sitä veti.

MH: Alkuperäisessä betonipaineastiakonseptissa ei haluttu päästää kuumaa vettä betonipintaa vasten, joten paineastiassa oli sisävaippa ja välissä kaasu, joka piti reaktoriveden erossa allasvedestä ilmalukon avulla. Sama idea siirtyi sitten Secureen, jonka betonipaineastian suunnittelin.

Ruotsiin siirtyminen

KK: Miten projektia lähdettiin vetämään?

TH: Aloituspäivä oli tammikuussa -76. Itse menin Västeråsiin joitakin päiviä aikaisemmin. Heti perään tuli pari-kolme muuta (ainakin Klaus Kilpi ja **Randolph Höglund** VTT:ltä, **Seppo Kangasluoma** Tampellalta). Kåre Hannerz veti kokousta. Menin ensimmäisenä päivänä ASEAn ja Kåren huoneeseen.

En osannut kunnolla ruotsia, olin alkuun vähän huuli pyöreänä. Heti lähdettiin pitämään alkupalaveria ja organisoimaan: Kåre esitti 6-7 ideaa, joita pohdittiin ensimmäinen kuukausi. Ruotsalaiseen tapaan koonnuttiin kerran viikossa istumaan ja miettimään. Me suomalaiset olimme alussa kielitaitoisista aika hiljaa ja lähinnä apu-poikia.

MH: Meillä ei ollut paljon heittä pöytään peruskonseptin suhteen.

KK: Koskahan Kåre oli kehittänyt peruskonseptin?

MH: Alussa konsepti ei ollut täysin selvä. Muistan, kun käytiin Ruotsin yditurvallisuusviranomaiselta kysymässä, voisiko Securesta jättää säätösauvat pois, vaikka pykälissä sellaiset reaktoreihin vaaditaan. Viranomainen ei ottanut asiaan selvää kantaa, joten ASEA totesi, että pitää jättää hakemus ja katsoa tulokset sitten. Ensimmäisissä Secure-konsepteissa oli säätösauvat, mutta ne jäivät lopullisissa versioissa pois. Passiiviseen turvallisuuteen perustavassa laitoksessa säätösauvat ovat luotettavuusmielessä vähän ongelmalliset.

KK: Kun tulin Ruotsiin tammikuussa 1976, **Evert Taube** oli kuollut samana päivänä, ja koko Ruotsi oli murheen valtaama. Virallinen projekti kesti syyskuun -77 loppuun. Alussa oli pitkä vaihe, että muodollista sopimusta ei vielä ollut. Ruotsalaiset yrittivät esittää, että koska suomalaisten työtunnin hinta oli vain puolet siitä mitä ruotsalaisten, suomalaisten pitäisi tehdä kaksinkertainen määrä tunteja, että saadaan kulut tasan! Lopulta sitten päästiin sopimukseen, että lasketaan henkilötyövuosia eikä markkoja tai kruunuja.

Auton osto ja sen seuraukset

KK: Kun sopimuksen syntyminen venyi, alkoi tulla kiire auton hankinnan kanssa, että sitä ehditsi pitää sen vaaditun vuoden ennen paluuta Suomeen.

TH: Lopulta marssittiin Mersu-kauppaan ja käytettiin lähes koko kielitaitomme: "vi tre stycken"! MB:llä oli kuitenkin juuri tulosmallinvaihdos, jota ei ollut aikaa jäädä odottelemaan, joten seuraavaksi menttiin Volvo-kauppaan ja toistettiin samat rep-liikit.

KK: Kun projekti loppui syyskuussa -77, olisin tarvinnut vielä kuukauden lisäajan, että saan tuotua auton Suomeen. Laboratorionjohtaja **Lasse Mattila** ilmoitti, ettei pysty järjestämään sellaista jatkokuukautta, mutta asia hoituisi, jos siirtyisin jatkaamaan töitä Marvikiiniin. Ja niin tuli kaksi vuotta lisää kakkua. (Marviken III -projekti: kriittisen virtauksen kokeet, Marviken IV -projekti: suihkun törmäyskokeet, Marviken V -projekti: primääripiirin aerosolikokeet; toim. huom.)

Lämmitysreaktori synty

MH: Securen reaktoritankin paine oli vain 7 bar, mutta halkaisija oli suuri. Lisäksi oli muita vaatimuksia, kuten että reaktorin piti olla kuopassa eikä sen ympärillä saanut olla tyhjää tilaa.

Jos olisi tehty teräspaineastia, olisi alle pitänyt rakentaa tarkastuskäytävät, ja se olisi tuonut tyhjää tilavuutta veden pinnan alapuolelle. Betonipaineastian painetta kantavat teräsvajjerit olivat vedettävissä ulos tarkastusta varten.

TH: Altaan vesimäärä suunniteltiin niin, että se pystyy toimimaan pitkäaikaisena lämpönieluna ja samalla korkean booripitoisuutensa avulla pitämään reaktorin alkukriittisenä.

MH: Allasvesi pidettiin reaktorista poissa vesikierron tuottaman alipaineen avulla: jos reaktori keittää tai kierto pysähtyy, boorrattu allasvesi änkeää sisään väkisin.

TH: Siitähän **Stig Kärker** suunnitteli hie-non pleksisen pienoismallin, joka esiteltiin Otaniemessä pidetyssä konferenssissa..

KK: ICENES-konferenssi, v. -81.

TH: Konferenssin nimi oli "Low temperature nuclear heat". Minulla oli vielä viime talvena mappeja ja laatikoita täynnä brosyreita, mutta kellaria siivotessani silppusin ne kaikki. Ei ole lähdeaineistoa enää..

MH: Minä tein SECUREn esitteen yhden suomalaisen mainostoimiston kanssa.

TH: Siinähan oli kansikuvana se sinun "pönttösi".

MH: Harrastin perspektiivipiirtämistä opiskeluaikana. Ensimmäinen tietokoneohjelmani vuodelta -68 piirsi stereografisia kuvia. Se oli toteutettu 3d-laskennalla. Tein sillä samalla algoritmilla reaktoripaineastista rautalankamallin.

Securea kauppaamassa

MH: Secure-projekti päättyi syksyllä -77.

TH: Minä olin viimeinen, joka lähti sieltä. Menin sitten vielä uudelleen, kun Securetyötä ruvettiin jatkamaan. Enää ei perustettu mitään ryhmää, vaan olin siellä yksinäni **Lars Nilssonin** ja **Anders Nordgrenin** kanssa. Tehtiin Securen ylöskaalaus: alkuperäinen reaktori oli pieni 200 -megawattinen, ja ennen pitkää huomattiin, että yksikköhinta tulisi liian suureksi. Päätettiin skaalata parametrit 400 ja 800 megawattiin. Menin tekemään sitä kesäkuussa -78 ja olin siellä seuraavaan kevättalveen asti.

MH: Palattuani Ruotsista olin vielä pari vuotta VTT:llä tekemässä mm. sijoituspaikatutkimuksia. Tässä yhteydessä käytiin keskusteluja Turun ja Helsingin energialaistosten kanssa. Helsingissä laitoksen sijoituspaikaksi kaavailtiin Viikkiä.

TH: Hinnoittelusta tuli kädenväntöä ruotsalaisten ja suomalaisten välillä, kun ASEA halusi hinnoitella laitoksen mahdollisimman korkealle, ja Finnatom kannatti maltillisempaa linjaa.

Lopulta päädyttiin määrittelemään Helsingin kaupungille hinta laskien takaperin lämmön myyntihinnasta ja ottamalla riski, pystyykö laitosta sillä hinnalla rakentamaan.

Virallinen, v. 1980 jätetty tarjous 200 MWth lämmitysreaktorista oli 500 miljoonaa silloista Ruotsin kruunua. Turussa ei paikallavaltintaan asti muistaakseni edetty.

KK: Securesta käytiin vielä 2000-luvun alussa "jälkinäytös": Helsingin Sanomain toimittaja teki verkkolehteen jutun, jossa haastateltiin 30 "asiantuntijaa". Vuosaari sai eniten kannatusta hypoteettisen lämmitysreaktorin sijoituspaikaksi. Juttu oli muuten hyvä, mutta siihen liittyvässä kuvassa oli Töölönlahdelle piirretty kaksi isoa lauhdutustornia..

KK: Vielä v. 1981 työskentelin ydinkaukolämmön kanssa pääkaupunkiseudun energihuoltovaihtoehtojen kansantaloudellisten vaikutusten arviointiprojektin (PEKAVA, juttu ATS Ydintekniikan numerossa 1/2010) sihteerinä.

Selvityksessä vertailtiin keskenään hiili-, ydinvoima- ja Secure-vaihtoehtojen kansantaloudellisia vaikutuksia kolmella eri tasolla.

PIUS

KK: Kåre Hannerz lähti jossain vaiheessa pois Secure-projektista, ja tilalle tuli Lars Nilsson.

MH: Tapasin Kåren kesällä -77 New Yorkin lentokoneessa. Olin menossa San Franciscoon SMIRT-konferenssiin (Structural mechanics in reactor technology), jossa esittelin Securen paineastian. Olin konferenssissa silloin, kun Elvis kuoli. Puhuimme lentokoneessa lyhyesti PIUS-reaktorista – Kåre rupesi soveltamaan Securen ideoita kiehumisvesireaktoriin..

TH: Aloittivat yksinään sen kehittämisen.

KK: Niin, se oli ASEA-Atomin projekti, jossa lämmön ohella oli tarkoitus tehdä sähköä. Siinä vaan menttiin korkeampiin paineisiin. Mutta betonipaineastia oli PIUKsessakin.

TH: Siinä oli sama turvallisuusfilosofia. En kyllä koskaan nähnyt siitä yksityiskohtia.

MH: Tietysti, jos vaaditaan iso vesitilavuus, niin siihenhän se menee.

KK: PIUS, mistäs se nimi nyt tulikaan, "Process Inherent Ultimate Safety"..?

MH: Kuulostaa Kårelta!

Ruotsin ydinvoimakansanäänestys

TH: Secure ja PIUS olivat molemmat valmiiksi suunniteltuja -79..-80, kun Ruotsin

ydinvoimarakentaminen meni lukkoon kansanäänestyksen myötä.

MH: Milloin se kansanäänestys olikaan?

KK: -80. Ruotsihan meni lukkoon Harrisburgin onnettomuuden vuoksi -79. Siinä kävi niin, että TMI 2 –onnettomuuteen saakka **Olof Palme** oli kammennut kansanäänestystä vastaan. Sitten piti Palmenkin kääntää kelkkansa, antaa periksi.

MH: Mutta eikös silloin ollut jo Fälldinin hallitus? Eihän Palme enää ollut pääministeri?

KK: Oli Fälldinin hallitus, mutta Palmella oli sosialidemokraattien puoluejohtajana suuri vaikutusvalta. Kun Palme ei kannattanut ydinvoimakansanäänestystä, ja kun kokoomus ei myöskään kannattanut, niin siellä oli enemmistö äänestystä vastaan.

TH: **Olle Johansson** oli energiaministeri...

KK: ...joka kannatti ydinvoimaaäänestystä. Kun tuli tämä Harrisburgin paukku, se sitten aiheutti sen että äänestykseen mentiin. Olen tulkinnut sitä niin, että Harrisburgin onnettomuuden poliittisesti suurin merkitys on Ruotsin äänestys, ja toinen merkitys on, että silloin varsinaisesti käynnistyi vakavien reaktorionnettomuuksien tutkimus.

TH: Etkö lue sitä miksikään, että siihen lopui myös Amerikan atomivoima? Sen jälkeenhän siellä lyötiin kaikki jäihin. Siellähän voisi tänä päivänäkin olla kukoistava ydinvoimateollisuus.

KK: Kyllähän siellä rakennettiin niitä laitoksia vielä... Oikeastaan se oli Tsernobyl joka lopullisesti lopetti sen.

TH: Se oli sitten viimeinen kuolinisku. Sehän tukki koko Euroopan, Ranskaa lukuunottamatta.

MH: Kun olin Studsvikissa -74..-75, minulla oli siellä vanhempi kollega **Reino Ekholm**; alkujaan suomenruotsalainen, opiskellut Yhdysvalloissa. Hänen tehtävänään oli seurata eri reaktorityyppien kehitystä maailmalla, ja hän otti monta kertaa kahvipöydässä puheeksi, että venäläisillä on tällaisia grafiittihidasteisia reaktoreita, jotka ovat epästabiileja, ja niissä ei ole suojarakennusta päällä. Hän selitti, miten teho voi niissä päästä karkaamaan.

MH: Palattuani takaisin Suomeen VTT:lle olin perehtynyt Rasmussenin raporttiin,

ja sen pohjalta oli tehty selvityksiä, mm. analysoitu Securen painetta kantavien teräsvaijerien peittämissä mahdollisuuksia, mutta eihän siitä saatu riskiä ulos. Tämä kaikki siis ennen TMI:tä.

Onnettomuudesta kuulin aamulla YDlin mennessäni. Heti tiedettiin, että nyt on merkittävä päivä, ryhdyttiin saman tien kirjoittamaan hakemuksia. Välittömästi juttuihin, että nyt alkaa tutkimustoiminnalle ihan uusi ura..

KK: Jos talvella Lapissa kuuluu pamaus kun talven selkä tahtuu, TMI oli pamaus, josta kuuli kun Palmen selkä tahtui. Ei enää ollut muita mahdollisuuksia kuin mennä kansanäänestykseen.

Se ei vielä olisi ollut ongelma, mutta kun ruotsalaisessa poliittisessa kulttuurissa ei ole mahdollista, että kokoomus ja sosialidemokraatit olisivat samalla puolella barriääriä, äänestykseen tuli lopulta kaksi eri tavoin muotoiltua ”kyllä”-vaihtoehtoa ja yksi ”ei”-vaihtoehto, ja tuloksia jouduttiin sitten tulkitsemaan jälkikäteen.

Yhteenvedo kokemuksista

TH: Kåre Hannerz oli valtavan hieno persoona, en ole eläissänini tavannut toista niin luovaa ja idearikasta ihmistä. Vähän humoristinen veikko, vaikka puhui vakavasti

KK: Kaiken lisäksi vielä kemisti..

MH: Kun jouduin omalla taustallani moiseen projektiin, olin pitkään hyvin varovainen puheissani. Sitten pikku hiljaa oivalsin, että tiimissä oli 30 ukkoa, joista suurin ammattiryhmä oli reaktorifyysikot (2) ja termodynaamikot (3). Siihen mahtui uskomaton määrä ammattikuntia.

TH: Aika harvat siitä porukasta lopulta ymmärsivät syvemmin sen reaktorin toimintaa.

MH: Eikö se ollut **Randolph Höglundin** hallussa se sydämen toiminta?

KK: Olemme Randolphin kanssa puhuneet tästä. Hän oli sitä mieltä, että mallit tulivat Ruotsista, ja työn tekivät suomalaiset. Omat kokemukseni ovat samanlaisia:

Hans Gransell teki luurangon, minä lihan siihen väliin.

TH: Kokouksissa (reaktorifyysikko) **Erik Johansson** veti kyllä pisteet puheliasuudellaan. Ja layoutissa vastaavasti **Stig Kärker**.

MH: Kåren johtoajatus oli, että ydinvoiman kannattavuus oli ollut niin hyvä, että laitoksiin oli ollut varaa rakentaa yhä enemmän monimutkaisia turvallisuusjärjestelmiä. Tämä oli hänen mielestään väärä kehitys-suunta, ja laitoksista pitäisi tehdä mahdollisimman yksinkertaisia ja itsestään turvallisia, jolloin rakentamiskustannukset pysyisivät kurissa.

MH: Näin jälkikäteen ajateltuna Secure-projektissa oli hämmästyttävän nopea aikataulu: projekti kesti vain puolitoista vuotta, ja siinä ajassa päästiin konseptitasolta lähtien jo tekemään tarjouskyselyjä.

KK: On se hienoa, että tällainen ”laitos” sentään rakennettiin TKK:n pääraakennuksen aulaan ja nähtiin, että siellähän se toimi...

MH: Kun terrorismista on nyttemmin tullut ongelma, meillä oli jo suunnitteluperusteena, että laitoksen käyttöhenkilökunta on terroristeja.

TH: Olihan se valtavan edistysellinen laitos.

MH: Meidän poikaporukka sen pystyi suunnittelemaan, kun ruotsalaiset vähän näyttivät suuntaa..

TH: Ruotsalaiset ovat aivan erinomaisia insinöörejä, ilman yhtään kateellista mieltä. Kåre Hannerz oli siitä elävä esimerkki. Häneltähän ne ideat olivat kaikki.

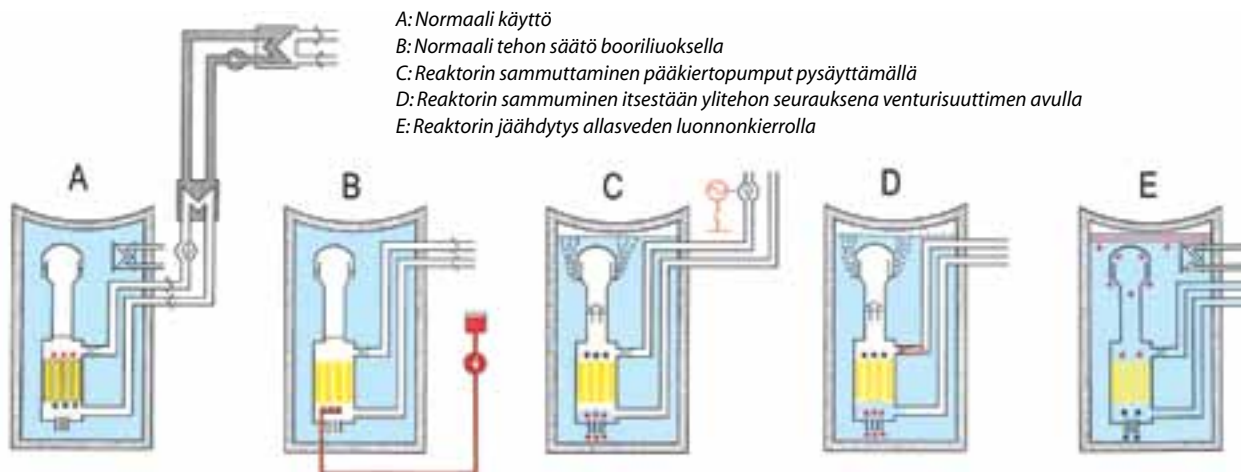
KK: Kyllähän sekä AB Atomenergin että ASEA-Atomien väki oli vankkaa tekijäporukkaa.

MH: Niin, ei ne mitään seniilejä olleet. ■

ATS Ydintekniikka ottaa mielellään vastaan 1970- ja 80-luvun lämmitysreaktoriprojektien koskevia tietoja ja muisteluja niissä mukana olleilta. Materiaali kerätään ja arkistoidaan siinä toivossa, että tulevaisuuden ydinteknikot saisivat mahdollisuuden ottaa oppia alan pioneeriprojektien kokemuksista.

Lisätietoa:

SECURE: Slutrapport om ett svensk-finskt utredningsprojekt.



Randolph Höglund

SECURE:N REAKTORIFYSIKAALISEN suunnitteluryhmän muodostivat VTT:n juuri armeijasta palannut nuori tutkija **Randolph Höglund**, 20 vuotta kokeneempi AB Atomenergin **Erik ("Jocke") Johansson** ja ASEA-ATOM:in edustajana **Leif Hjärne**. Ryhmälle annettiin melko vapaat kädet polttoainenipun ja reaktorisydämen suunnittelussa, tietysti tiettyjen reunaehtojen puitteissa (esim. tehotiheyden piti olla sopivan alhainen). Kaikenlaisia polttoainehiloja tutkittiinkin, vaikka lopputulos – yllätys, yllätys – muistutti melko paljon ASEA-ATOM:in silloista 8x8 polttoainesauvaa sisältävää kiehuvesireaktorinippua, koska muutkaan vaihtoehdot eivät tuoneet mitään selviä etuja. Erikoispiirteenä oli kuitenkin nipun keskellä oleva vettä sisältävä putki, jonka ansiosta nipun sisäinen tehojakauma tasoittuu. Tätä emme varmaan ihan ensimmäisinä maailmassa keksineet, mutta se oli kuitenkin melko uusi asia; nykyään kaikki modernit kiehuvesireaktoreiden polttoaineniput sisältävät erimuotoisia vesiputkia tai veden täyttämiä reikiä muuten säännöllisessä polttoainehilassa.

SILLOIN EI vielä ollut näyttöpäätteitä, vaan lähtötiedot annettiin koneelle reikäkorteilla ja kaikki tulokset saatiin paperille. VTT:n edustajan reaktorifysikaalisista laskuista syntyi tietokoneistauksia yhteensä 3,5 metriä paksu paperipino joka projektin loppuessa vietiin johonkin ASEA-ATOM:in varastoon eikä sen myöhäisemmistä vaiheista ole tietoa. Kaikkein keskeisimmän laskun listaus säilyi kuitenkin pitkään kirjahyllyssä VTT:n toimistossa Otaniemessä ja on edelleen tallessa, mutta nyt TVO:n Helsingin konttorissa Töölönkadulla. Se sisältää kaikkien lopulta valittujen polttoainenippu-tyyppien PHOENIX-tulokset mutta vei 11.3.1977 Honeywell-6000-tietokoneen CPU-aikaa vain 100 minuuttia. Nippulaskuissa käytetty PHOENIX-ohjelma oli vielä niin tuore että alussa oli olemassa ainoastaan **Rudi Stamm'lerin** käsin kirjoitettu manuaali (sekä mainontaa varten tietysti värikäs kansilehti). Koko reaktorisydäntä koskevat analyysit tehtiin paikallisen POLCA-nodaalimalliohjelman varhaisella versiolla.

SECURE SUUNNITELTIIN ilman säätösauvoja toimivaksi, koska projektin johto ei halunnut joutua sulkumarginaaleja analysoimaan. Reaktiivisuutta oli tarkoitus säätää osittain palavalla absorbaattorilla (Gd_2O_3) ja osittain jäähdysveteen sisältyvällä boorilla. Ylimääräiseksi sammutusjärjestelmäksi suunniteltiin kuitenkin, että tarvittaessa olisi mahdollista kaataa pieniä booriteräskuulia polttoainenippujen keskusputkiin. Tämä antoi myös aiheita suorittaa hieman kokeellista reaktorifysiikkaa. Koska kukaan ei kovin tarkasti uskaltanut arvata kuinka paljon kuulia käytännössä mahtuisi putkeen, tilattiin mittalasi ja muutama sata grammaa sopivankokoisia kuulalaakerikuulia, jotka kaadettiin lasiin joitakin kertoja. Keskimääräiseksi täyttöprosentiksi saatiin 56.

YDINVOIMALASSA PYRITÄÄN yleensä taloudellisista syistä vähävuotoiseen lataustapaan, missä reaktorisydämen reuna-alue rakennetaan kaikkein vanhimmista ja väsyneimmistä polttoainenipuista. Tämä olisi SECURE:n pienessä sydämessä johtanut liian korkeaan tehopiikkiin sydämen keskialueella. Neljäsosa polttoaineesta oli tarkoitus vaihtaa tuoreeseen kahden vuoden välein, joten käyttöjakson alussa reaktorisydämessä olisi tuoreita ja 2-, 4- sekä 6-vuotiaita polttoainenippuja. Suurin osa vanhimmista nipuista olisi kuvan mukaisesti jouduttu sijoittamaan sydämen keskiosaan ja reuna olisi rakennettu 2-vuotiaalla polttoaineella. Välimaasto koostuisi tuoreen ja 4-vuotiaan polttoaineen sekoituksesta. Toisessa vaihtoehdossa kymmenesosa polttoaineesta olisi vaihdettu vuosittain.

MUUTAMA VUOSI projektin jälkeen tuli kirje espanjalaiselta professorilta, joka oli kiinnostunut mahdollisuuksista tuottaa juomavettä merivedestä Kanarian saarilla SECURE-tyyppisellä reaktorilla. Ko. herraa kehoitettiin ottamaan yhteyttä Västeråsiin ja hankkeen myöhäisemmästä kohtalosta ei ole tietoa. Tiettävästi Kanarian saarilla ei ole kuitenkaan vielä yhtään ydinvoimalaa toiminnassa eikä suunnitteluryhmä ole päässyt tekemään konsulttimatkoja sinne.

Technical Meeting on Spent Fuel Treatment Options including Reprocessing and Recycling

IAEA järjesti Wienissä kokouksen käytetyn polttoaineen käsittelymahdollisuuksista ja -projekteista. Kokouksen tavoitteena oli eri maiden tilanteen tarkastelun lisäksi aloittaa asiaa koskevan TECDOCin (IAEA TECDOC-1587) päivitysprosessi. Kokouksessa oli edustettuna ydinenergian käytön suhteen hyvin erilaisia maita muutaman reaktorin pienistä maita (Slovenia, Meksiko) isoihin maihin, jotka panostavat paljon jälleenkäsittelyyn ja sen tutkimukseen (Kiina, Ranska).

MONISSA MAISSA jälleenkäsittelyn soveltaminen nykyisten kevytvesireaktoriin polttoaineeseen ja siitä syntyvän MOXin käyttäminen polttoaineena niissä on nousussa kiinnostavaksi vaihtoehdoksi – monissa esityksissä sitä pidettiin esittävän maan todennäköisimpänä lähitulevaisuuden käytetyn polttoaineen käsittelyvaihtoehtona. Tärkein kannustava tekijä on loppusijoitusvaihtoehdon puute. Maissa, jossa ei ole kyetty tai haluttu tekemään päätöstä loppusijoituksesta, on vanhasta käytetystä polttoaineesta tulossa ongelma. Yhtäältä välivarastotila on käymässä monessa paikassa vähiin ja toisaalta polttoaineniippujen säilyvyys erittäin pitkällä välivarastointiajoilla (viidestäkymmenestä satoihin vuosiin) on erittäin vähän tunnettu; lasitetulle jälleenkäsittelyjätteelle on olemassa asiasta enemmän tutkimusta. Näissä maissa jälleenkäsittelyä harkitaan pitkälti tapana siirtää loppusijoitusratkaisuja eteenpäin. Lisäksi MOXin käyttöä ajavat joissain maissa olevat varastot plutoniumia, jotka ovat peräisin aseprojekteista tai käytetystä polttoaineesta, joka on aiemmin jälleenkäsittelyä ja jonka plutonium on jätetty odottamaan nopeita reaktoreita. Kun taloudellista nopeaa reaktoria ei ole saatu käyttöön, nämä varastot ovat kasvaneet hankalan suuriksi.

KOKOUKSESSA OLI hyvin laaja yhteisymmärrys siitä, että jälleenkäsittelyn mahdol-

listamat taloudellisuus- ja uraansäästöedut saavutetaan vain polttoainekierrolla, johon kuuluvat olennaisena osana nopeat reaktorit, sillä nykyisenkaltaisilla kevytvesireaktoreilla käytetyn MOX-polttoaineen jälleenkäsittelyssä plutoniumin isotooppikoostumus on kahden tai kolmen kierroksen jälkeen sellainen, että sitä ei enää voida käyttää kevytvesireaktorissa. Isoilla ydinenergian käyttäjillä olikin jälleenkäsittelyn ja nopeiden reaktoriin kehittäminen otettu selvästi osiksi yhtä isoa kokonaistutkimusta. Erityisesti Kiinan projekti oli näiltä osin erittäin kunnianhimoinen: ensimmäinen kaupallinen nopea reaktori pyritään ottamaan käyttöön 2030, ensimmäinen jälleenkäsittelylaitos 2025 ja MOX-polttoaineen jälleenkäsittely 2050, minkä jälkeen polttoainekierto olisi täysin suljettu.

VAIKKA NOPEAT reaktorit tulisivat kaupallisesti tarjolle ja suuret maat ottaisivat suljetun polttoainekierron käyttöön, monessa esityksessä esitettiin huoli siitä, onko sama mahdollista pienemmän ydinsektorin omaaville maille. Jälleenkäsittelylaitokset ovat kokonsa ja proliferaatoriskinsä takia erityisesti rajoitettu vain suurempiin maihin, mutta suljettu polttoainekierto vaatii myös muita erikoistuneita laitoksia, joiden rakentaminen pienempiin maihin ei todennäköisesti ole kannattavaa. Polttoainekierron alkupään sekä nykyään käytetävän jälleenkäsittelyn kansainväliset ratkaisut osoittavat, että tämä ongelma on mahdollista ratkaista kansainvälisellä yhteistyöllä, mutta mikäli asiaa ei oteta alusta asti huomioon, tämä voi hidastaa suljetun polttoainekierron käyttöönottoa pienissä maissa erittäin paljon senkin jälkeen, kun tarvittava teknologia on olemassa.

Varsinaisten jälleenkäsittelyteknologioiden kehityksen osalta tavoitteet olivat selkeästi kahdenlaiset: nykyään vallitsevan PUREX-prosessin kehittäminen siten, että siinä tuotettu nestemäisten jätteiden

määrä saataisiin pienemmäksi, ja toisaalta uudet prosessit, jotka mahdollistaisivat myös sivuaktinidien erottamisen prosessissa. Jälkimmäistä tavoitellaan, sillä noin 150 vuoden jälkeen sivuaktinidien vaikutus käytetyn polttoaineen radiotoksisuuteen ja lämmöntuotantoon on selvästi suurin. Jos plutoniumin lisäksi siis saataisiin sivuaktinidit erotettua muusta käytetystä polttoaineesta, jäljellejäävän materiaalin säilytys ja loppusijoitus helpottuisivat huomattavasti. Sivuaaktinidit voitaisiin potentiaalisesti transmutoida nopeilla reaktoreilla tai käsitellä muuten erikseen.

UUDET TUTKITTAVAT prosessit voidaan jakaa kahteen ryhmään: kehittyneet neste-prosessit sekä kuivat pyroprosessit. Vaikka molemmista tyypeistä löytyy periaatteessa jo melko kehittyneitä versioita, ne kärsivät PUREXiin verrattuna tehokkuusongelmista plutoniumin osalta. PUREX kykenee erottamaan plutoniumin muusta käytetystä polttoaineesta erittäin tehokkaasti (yli 99,9 %:n erotuskyky), kun uudet prosessit kykenevät selvästi huonompaan suhteeseen (noin 99,7 % parhaimmillaan). Koska plutoniumin vaikutus sekä radiotoksisuuteen että lämmöntuotantoon on kertaluokkia suurempi kuin sivuaktinideilla, tämä pieneltä vaikuttava ero riittää käytännössä poistamaan kokonaan potentiaalisen hyödyn, mikä sivuaktinidien erottamisella saadaan. Lisäksi pyroprosesseilla, joiden etuna olisi minimaalinen määrä nestemäistä jälleenkäsittelyjätettä, ongelma tulee prosessin materiaalien kestävyys. Näyttääkin siltä, että edes kilpailijaa PUREXille, saati sen syrjäyttäjää, ei ole näköpiirissä.

DI Antero Kuusi
Tarkastaja
Ydinjätteiden ja
ydinmateriaalien valvonta
STUK
antero.kuusi@stuk.fi



Laskentaparametrien epätarkkuuden vaikutus säteilyannosten laskennassa

YDINVOIMALAITOKSEN KÄYTTÖLUVAN edellytyksenä on luvanhaltijan valmius arvioida normaalikäytön ja mahdollisten onnettomuustilanteiden seurauksena laitosalueen ympäristössä eläville ihmisille aiheutuneet säteilyannokset. Annosten arvioimista varten voimayhtiöllä tulee olla käytössään tietokonepohjainen annoslaskentaohjelmisto.

RADIOAKTIIVISTEN AINEIDEN kulkeutuminen laitoksesta ympäristöön aiheuttaa säteilyannoksia useiden altistusreittien kautta. Ulkoista annosta kertyy päästöpilvestä ja laskeumasta aiheutuneesta suorasta säteilystä. Lisäksi annosta voi kertyä myös kehonsisäisesti, kun ihminen saa radioaktiivisia aineita kehoonsa joko hengityksen tai kontaminoituneen ravinnon nauttimisen yhteydessä. Eri tekijöistä, kuten säätilasta ja päästön nuklidijakaumasta riippuen eri altistusreittien rooli vaihtelee. Radioaktiivisista päästöistä aiheutuvat säteilyannokset voidaan kuvata biosfäärimalleihin, joissa päästönopeuksien (Bq/a) perusteella voidaan mallin avulla laskea vastaavat laitosympäristön säteilyannosnopeudet (Sv/a).

TYYPILLISESTI SÄTEILYANNOSTEN laskentaan liittyy eri lähteistä aiheutuvia epävarmuuksia, joista voi edelleen aiheutua merkittäviä epävarmuuksia laskentamallin antamille lopputuloksille. Eräs merkittävä epävarmuuksia aiheuttava tekijä on mallissa käytettyjen parametrien epätarkkuus.

KANSAINVÄLINEN SÄTEILYSUOJELUKOMISSIO (ICRP) on laatinut ohjeita, joiden pohjalta säteilyannoslaskennan epävarmuuksiin voidaan varautua. Epävarmuudet voidaan huomioida deterministisin menetelmin asettamalla mallin parametrit konservatiivisesti. Tämä voi kuitenkin merkittävästi yliarvioida kertyneitä annoksia, mikä voi edelleen kasvattaa kustannuksia tarpeettomasti. Konservatiivisten arvioiden sijaan voidaan käyttää stokastisia menetelmiä, joissa parametreille arvioidaan Best Estimate (BE) -arvot tarkoituksenmukaisine vaihteluväleineen. Näihin perustuen voidaan arvioida laskentatulosten vaihteluvälit Monte Carlo -simuloinnin avulla.

FORTUMISSA NORMAALIKÄYTÖN ja onnettomuuksien aiheuttamien säteilyannosten arvioimiseen käytetään

yhtiössä 1990-luvun alussa kehitettyä annoslaskentaohjelmistoa TUULET. Ohjelmalla voidaan laskea normaalikäytön aikaiset ja erilaisista onnettomuuksista aiheutuneet säteilyannokset ydinvoimalaitoksen ympäristössä. Laskennassa käytettyjen säätietojen avulla annoksille voidaan laskea todennäköisyysjakauma, josta voidaan edelleen arvioida tiettyä luottamustasoa vastaavat ylitysarvot.

DIPLOMITYÖSSÄ ON laajennettu TUULET-ohjelman todennäköisyystarkastelua ottamalla huomioon myös laskentaparametrien heilahtelusta tuloksille aiheutuvat epävarmuudet. Merkittävä osa työtä oli parametrien Best Estimate -arvojen (BE-arvot) päivitys tuoreimman mahdollisen kirjallisuusaineiston perusteella. Lisäksi laskennan kannalta merkittävimmille parametreille arvioitiin heilahtelua kuvaava vaihteluväli ja todennäköisyysjakauma. Tietyille parametreille arvioitiin myös keskinäiset korrelaatiokertoimet.

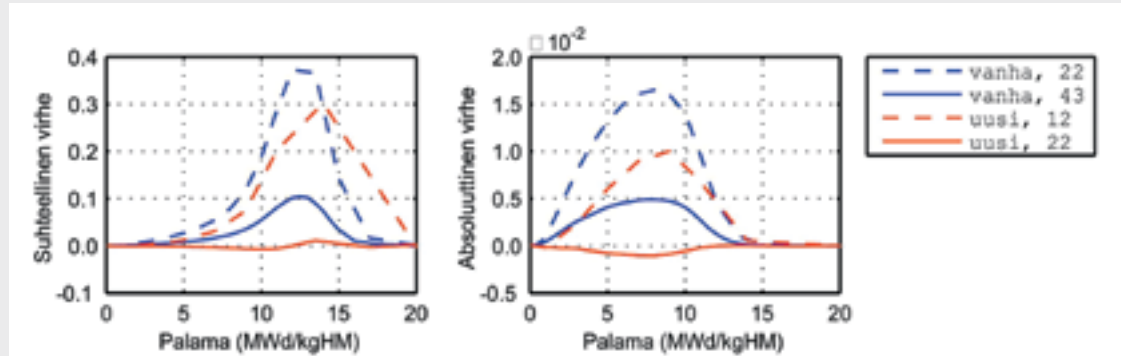
LOPULTA TYÖSSÄ kehitettiin ohjelman yhteyteen herkkyysanalyysityökalu, jossa ohjelman laskenta voidaan suorittaa arpoen parametrien arvot niiden vaihteluväliltä huomioiden mahdolliset korrelaatiot. Suorittamalla riittävä määrä ajokierroksia saadaan selville lopputulosten tiettyä varmuustasoa vastaava vaihteluväli.

UUTTA OHJELMAVERSIOTA testattiin ajamalla se eräessä tyypillisessä onnettomuustapauksessa. Laskenta on suoritettu Loviisan ympäristössä 100 kilometrin etäisyydelle asti käyttämällä laskennan varmuustasona arvoa 95%. Saatujen tulosten perusteella voidaan arvioida, että annosten heilahtelu pysyy parametrien heilahtelusta huolimatta maltillisena.

*Opinnäytetyö hyväksytty
Aalto-yliopiston Teknillisessä korkeakoulussa.*

*DI Reda Guerfi
Suunnitteluinsinööri
Fortum Power & Heat Oy
Ydinturvallisuus
reda.guerfi@fortum.com*

Aikaintegrointimenetelmiä palamalaskuihin



Suhteellinen ja absoluuttinen aikadiskreoinnista aiheutuva virhe ^{155}Gd :n konsentraatiossa laskettuna vanhalla ja uudella ennusta-korjaa-menetelmällä käyttäen eri askelmääriä. Ajoaika on lähes suoraan verrannollinen askelmäärään.

PALAMALASKUJEN TAVOITTEENA on seurata ydinpoltoaineen koostumuksen muutoksia polttoaineen käytön aikana. Näitä laskuja tarvitaan useissa sovelluksissa uusin reaktorityyppien alustavista analyyseistä aina tehoreaktorien käytön optimoimiseen. Palamalaskut etenevät askelissa, joissa ratkaistaan vuoron perään steady-state neutroniikka ja materiaali-koostumusten muutokset. Diplomityössä keskityttiin neutroniikka- ja palama-askelten yhteenliittämiseen palamalaskuissa, joissa nukliidi-inventaarion muutokset lasketaan evaluoimalla yleinen ratkaisu Bateman-yhtälöihin mikrokooppisten reaktiotaajuuksien pysyessä vakioina.

TARKASTELTAVA ONGELMA kiteytyy siihen, kuinka neutroniikkaratkaisusta saaduista hetkellisistä vaikutusaloista ennustetaan niiden käytös askeleen aikana. Diplomityössä kehitettiin kolmea tapaa parantaa tähän käytettyjen menetelmien suorituskykyä. Kehitettyjä menetelmiä testattiin toteuttamalla ne reaktorifysiikkakoodi Serpentiin ja suorittamalla niillä palamalaskuja neljässä testigeometriassa. Kaksi ensimmäistä kokeilluista menetelmistä voidaan nähdä vanhojen ennusta-korjaa-menetelmien jatkokehityksenä. Ne ovat korkeamman asteen ennusteiden tekeminen vaikutusalojen ja vuon aikakehitykselle ja askelten jakaminen aliaskeleisiin, joilla Bateman-yhtälöt ratkaistaan erikseen. Aliaskeleet mahdollistavat reaktiotaajuuksien mallintamisen kullakin askeleella paloittain vakioina entisen vakioaprosimaation sijasta.

ENNUSTEASKELEIDEN ASTELUVUN nostaminen tuotti erinomaisia tuloksia. Korjausaskelilla vaikutukset oli-

vat puolestaan epämääräisiä, jopa kielteisiä, johtuen vanhalla lineaarisella menetelmällä tapahtuvasta systemaattisesta virheiden kumoutumisesta, jota ei ilmene korkeamman asteen ennusteilla. Aliaskelten käyttö poisti valtaosan lyhytikäisten nuklidien pitoisuuksissa havaituista virheistä ja vaikutti positiivisesti myös pitkäikäisiin nuklideihin. Yhdessä nämä kaksi yksinkertaista parannusta näyttävät puolittavan mihin tahansa tarkkuustasoon vaadittavan ajoajan ainakin palavia absorbaattoreita sisältävissä nippugeometrioissa. Parannusten pitäisi olla sovellettavissa kaikkiin Bateman-ratkaisuja käyttäviin palamalaskuohjelmiin.

KOLMAS TUTKITUISTA menetelmistä perustuu neutronien törmäysten energia- ja paikkajakauman kehityksen ennustamiseen vaikutusalojen sijasta. Menetelmä tuotti kohtalaisen tarkkoja tuloksia suhteessa askelmäärään, mutta ainakin nykyinen toteutus on auttamatta liian hidas ollakseen kilpailukykyinen. Se myös tukeutuu keskeisiltä osin eräisiin Serpentin erikoispiirteisiin, eikä välttämättä ole realistisesti sovellettavissa missään muissa nykyisissä palamalaskuohjelmissä. Kehityksen alustavan luonteen takia menetelmällä on kuitenkin jatkokehityspotentiaalia.

Opinnäyte hyväksytty
Aalto-yliopiston Teknisessä korkeakoulussa.

DI Aarno Isotalo
Tohtorikoulutettava
Aalto-yliopisto, Teknillisen fysiikan laitos
aarno.isotalo@tkk.fi

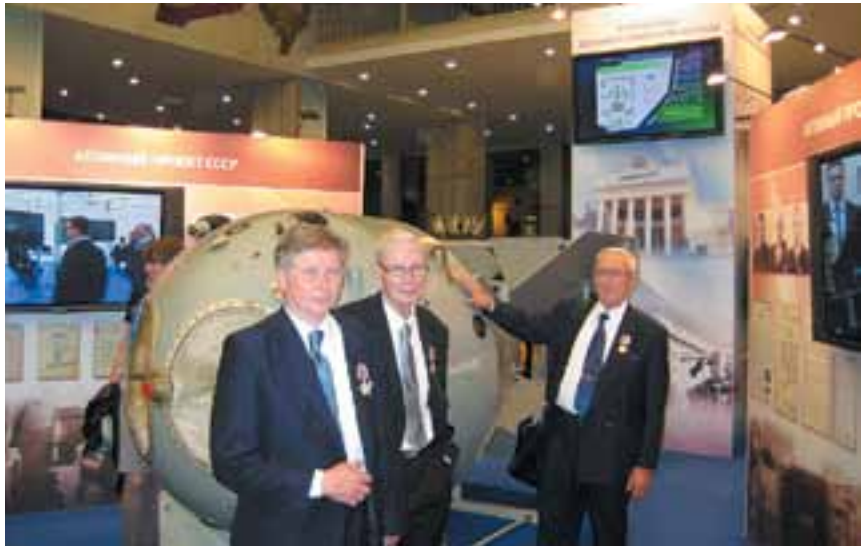
Loviisan ydinvoimalaitoksen toteuttajia palkittiin Moskovassa

Vuorineuvos **Kalevi Numminen** (Loviisa 1:n käyntiinsaattaja ja projektipäällikkö, Imatran Voiman pääjohtaja 1982-97), energianeuvos **Kalervo Nurminen** (Loviisa 2:n projektipäällikkö, IVO:n toimitusjohtaja 1997-2000), diplomi-insinööri **Kari Ruukonen** (prosessiautomaatio), diplomi-insinööri **Viktor Novitsky** (laadunvalvonta) ja varatuomari **Juhani Santaholma** (sopimukset ja luvitus) saivat Loviisan ydinvoimaveteraanien edustajina Venäjän ydinvoima-alan valtionyhtymän ROSATOMin antamat korkeat Kurtshatov-instituutin kunniamerkit 22.9.2010 Kremlissä Neuvostoliitto-Venäjän ydinvoimatoiminnan 65-vuotisjuhlissa. Kunniamerkit kiinnitti palkittavien rintapieliin Venäjän ydinvoimatoiminnan Rosatomien pääjohtaja ja Venäjän entinen pääministeri **Sergei Kirienko**. Ullkomaisia palkittuja oli 37 kahdeksasta maasta.

Päivän kestävässä juhlallisuuksissa tutustuttiin Kremlin palatseihin, tehtiin Moskovajoen risteily ja nähtiin Kremlin kunnia-vartiota paraati. Päivä huipentui mittavaan gaalakonserttiin Kremlin kongressipalatsissa.

Kunniamerkkien jakotilaisuudessa Kremlissä vuorineuvos Numminen esitti Fortum-konsernin toimitusjohtajan **Tapio Kuulan** tervehdyksen Rosatomille sekä laajalle erimaiden ydinvoimaosaajien yhteisölle sekä ennen kaikkea henkilöille, jotka ovat olleet ydinvoiman kehityksen alkulähteillä ja ovat tänään kansallisten ydinvoimaorganisaatioidensa veteraaneja.

Numminen totesi useiden maiden asiantuntijoiden yhteisin ponnistuksin rakennettuna Loviisan ydinvoimalaitoksen olevan edelleen loistava esimerkki tiiviistä kansainvälisestä yhteistyöstä ja laitoksen kuuluvan teknologiansa, tehokkuutensa, turvallisuutensa sekä käyttöparametriensa puolesta maailman ehdottomaan ydinvoimalaitoshuippuun. VVER-440 teknologiaa edustava Loviisan painevesireaktori-voimalaitos



SNL:n ensimmäinen ydinpommi RDS-1. ("Reaktivnij Dvigalej imeni Stalina" eli Stalinin nimelle omistettu reaktiomootori) Pommin peitenimen antoi 20.8.1945 perustettu Valtion Erikoiskomitea, jonka puheenjohtaja oli L. P. Berija, pääammatiltaan salaisen poliisin päällikkö. I.V. Kurtshatov oli komitean jäsen. Pommi oli lähes kopio Nagasakin pommista, fissioaineena plutonium ja lisäksi kerros U-238:aa. Pommin etuosassa on kaksi radiokorkeusmittarin antennikupua. Etuosan sivuilla on säteettäin joukko ilmavirralta toimivia aähkögeneraattoreita. Pommi räjäytettiin 29.8.1949 Kazahstanissa Semipalatinskin alueella.

tuottaa Suomessa modernisointien ja tehonkorotusten jälkeen n. 490 MW:n sähkötehon kumpikin yksikkö. Numminen toivotti Rosatomille ja koko ydinvoima-alan kansainväliselle yhteisölle onnea ja menestystä ydinvoiman rauhanomaisessa käytössä. Nummisen valtuuskunta ojensi pääjohtaja Kirienkole muistolahjana **Kari Laineen** suunnitteleman Revontuli-nimisen taide-tinalautasen, johon loviisalainen kultaseppä **Juha Karvonen** on kaivertanut Loviisan voimalaitoksen.

Numminen antoi haastatteluja venäläisille tiedotusvälineille, TV:lle ja lehdistölle.

LOVIISAN DELEGAATIO sai todeta juhlien yhteydessä, kuinka suuri merkitys ydinenergian rauhanomaisen käytön ohella Venäjällä annetaan myös asevarustelun sovelluksille. Esimerkiksi gaalakonsertin ajaksi Kremlin kongressipalatsin lämpöön oli tuotu myös Neuvostoliiton ensimmäisen atomipommin "maketti", jota joukolla ihmeteltiin.

Delegaatio tutustui oman Moskovan kiertoajelunsa yhteydessä Fortumin uuteen toimistoon kaupungin kehittyvässä business-cityssä. Oppaana toimi **Svetlana Efimova**, toimiston hallintopäällikkö.

Loviisan ydinvoimadelegaatiolle tarjoutui Moskovan retken yhteydessä tilaisuus nostalgiseen muisteluun voimalaitoksen toteutukseen liittyvistä, usein herkullisistakin vaiheista, ehkäpä historiankirjoitustakin varten. Tavattiin myös vanhoista ystäväistä **Alexander Maklakov**, 92 v., Technopromexportin pääjohtaja Loviisa 1:n alkuvaiheissa, Svetlana Efimova, administraattori koko projektitoteutuksen ajoilta sekä **Viktor Koslov**, Atomenergoexportin myöhempi pääjohtaja. Useat vielä työelämässä olevat ystävät olivat vierailun aikana Kiinassa toteuttamassa ydinvoimalaitosprojektia, jossa IVO:n suunnittelulla on merkittävä osansa.

Delegaatio kiitti lämpimästi Fortumia onnistuneen ja mieliinpainuvan matkan järjestämisestä. ■

Crab Key 1:n turvallisuuskulttuurin ongelmat



Crab Key:n reaktorihalli. Vasemmalla reaktoriallas, oikealla valvomopöytä. Arvoitukseksi katsojalle jää, miten allastyypistä reaktoria kyetään käyttämään sähköntuotantoon. Samoin arvoitukseksi jää, miksi reaktori tehdään kriittiseksi laskemalla säätösauvat sydämeen. (Kuva elokuvasta James Bond ja Tohtori Ei.)

Elokuvassa *James Bond ja Tohtori Ei* (Universal Studios, 1962) esiintyy rikollisjärjestö SPECTREN ydinvoimalaitos. Sijaintipaikkansa mukaan kyseessä lienee reaktori Crab Key 1. Mitä voimme oppia hullun tiedemiehen reaktorista? Ainakin paljon varoitavia esimerkkejä turvallisuuden laiminlyönnistä.

CRAB KEYN reaktori sijaitsee suurehkoissa maanalaisessa hallissa, jonka toisessa päässä on valvomopöytä, toisessa reaktoriallas (kuva). Näiden välillä on kuumakammioita sekä joukko rele- ja mittauskaappeja, joilla kullakin oma operaattorinsa. Ensimmäinen huomio, jonka katsoja tekee, on henkilökunnan pukeutuminen: kaikilla on ylipaineistettuja suojapuvuita. Ilmassa on siis voimakasta kontaminaatiota!

ILMAKONTAMINAATIO REAKTORIHALLISSA johtuu yleensä polttoainevaurioista. Tästä huolimatta laitoksen käyttöä jatketaan. Ongelma koetaan ratkaistuksi, kun kaikilla on suojapuvuita. Tällainen oireiden hoito on tyypiesimerkki välinpitämättömästä asenteesta, joka leimaa Crab Key 1:tä. Voisihan ilmakontaminaatio-ongelman hoitaa myös eristämällä reaktorihallin valvomotiloista. Näin on tehty muun muassa Otaniemen F1R 1 -reaktorilla, vaikkei siellä ole vastaavaa ilmakontaminaatio-ongelmaa edes ollut. Tällöin Bondin tapaiset luovasta alueella liikkuvat henkilöt eivät pääsisi vitalialu-

eelle naamioituneina ja myös inhimillisten virheiden riski pienenesi. Tai voisihan viallisen polttoaineen poistaa, jolloin ilmakontaminaatio loppuisi.

REAKTORIN SUUNNITTELUSSA näyttää myös olevan puutteita. Reaktorisuojausjärjestelmä puuttuu kokonaan. Sen korvaa yksi manuaalinen hätäkytkin. Ei tietoaakaan erilaisuus- tai moninkertaisuusperiaatteista! No, nyt on 1960-luku, joten ei pidä vaatia mahdottomia. Todellistenkaan reaktorien suojaus ei ollut paljon parempi.

INHIMILLISIÄ VIRHEITÄ vastaan ei ole varauduttu mitenkään. Säätösauvoja käytetään käsin, ja reaktorin saa ylikriittiseksi ilman, että mikään järjestelmä pysäyttäisi säätösauvat. Koska kyseessä on elokuva, näin myös luonnollisesti käy.

BONDIN KANSSA keskustellessaan laitoksen vastaava johtaja, tri Ei, toteaa aikovansa tuhota saaren ja siirtä seuraavaan tukikohtaan. Tämä on mitä ilmeisimmin jo käynnissä. Ydinjätehuoltonsa Crab Key 1 on hoitanut tyyliin uskollisesti. Jätteet on näköjään dumpattu lähelle suolta, josta virtaa joki suoraan matalaan merenlahteen. Kun Bond ja hänen naisseuralaisensa vangitaan suolta, he ovat pahoin kontaminoituneita. Tämä ei kuitenkaan ole Crab Key 1:llä ongelma. Jos laitoksel-

la jotain osataan, niin dekontaminointi. Henkilödekontaminointilinja on tilava, tehokas ja henkilökunnalla on selvästi paljon kokemusta työstään. Mitä tämä kertoo laitoksen säteilysuojelukäytännöistä, jää katsojan pohdittavaksi.

CRAB KEY 1:n reaktori-insinöörinä toimii vastaava johtaja, tri Ei. Ydintekniikan ihmisen sydäntä särkee katsella tapaa, jolla hän rasittaa reaktoriaan. Sitä ajetaan kuin kilpa-autoa. Reaktoriteho nostetaan ensin 50 %:iin, minkä jälkeen palataan kuumaan sammutustilaan. Onhan vielä viisi minuuttia siihen, että tarvitaan täysi reaktoriteho. Pienintäkään ajatusta ei uhrata polttoaineen suojakuoren rasitukselle, PCI-ongelmille, termisistä transienteista aiheutuville materiaali-ongelmille, puhumattakaan ylös- ja alasajon riskeistä. Tällä käytötavalla ei saavuteta 60 vuoden käyttöikää!

VALMIUSTOIMINTA ON Crab Key 1:llä lyöty pahasti laimin. Kun reaktorille tulee häiriö, lähtevät operaattorit käpälämäkeen. Tämän jälkeen laitoksen henkilökunta juoksee ympäriinsä kuin kanaparvi. Järjestäytyneestä evakuoinnista tai onnettomuuden hallinnasta ei näy jälkeäkään. Tri Ein rikollisjärjestö ei ole selvästikään onnistunut rekrytoimaan ja kouluttamaan tehtävälleen omistautunutta, rauhallisesti tehtäviään hoitavaa henkilökuntaa. Ehkä tähän on osasyynä se, että rikollisjärjestöjen on vaikea saada töihin rehellisiä ihmisiä. Ei, vaikka reaktori sijaitsee mitä ihanteellisimmalla Karibianmeren saarella.

PUHDASTA TODISTUSTA laitossyksikkö Crab Key 1 valvonnasta ei saa viranomainenkaan. James Bond edustaa saarella valtiota, Jamaikaa hallitsevaa Isoa-Britanniaa. On toki yllä olevan perusteella selvää, että Crab Keyn ydinvoimalaitoksen toiminnan keskeyttämiseen on vahvat perusteet, mutta silti viranomaisen toiminta haikahtaa ylimitoiteltulta. Onko vakavan reaktorionnettomuuden aiheuttaminen tekemällä reaktori kerkeästi kriittiseksi välttämättä paras tapa hoitaa viranomaisen valvontatehtävä?

Reaktorin laidalla
24.1.2011

TAPAHTUMAKALENTERI

ATS:n jäsentilaisuus 6.6.2011

Tieteiden talo, Helsinki
Nuclear Power in Estonia
Lisätiedot ja ilmoittautumiset:
Silja Häkkinen
sihteeri@ats-fns.fi

Syysseminaari 3.11.2011

Säätytalo, Helsinki
Lisätiedot:
Silja Häkkinen
sihteeri@ats-fns.fi

ATS 45-vuotisjuhlat 3.11.2011

Palace Gourmet, Helsinki
Lisätiedot:
Silja Häkkinen
sihteeri@ats-fns.fi

*Lisätietoja kaikista ATS:n tapahtumista
löytyy internetistä: www.ats-fns.fi*

UUDET JÄSENET

Seuraan on hyväksytty seuraavat uudet jäsenet:

VARSINAISIA JÄSENIÄ

- Merja Väänänen, Fortum
- Petri Jyrälä, TVO
- Antti Hakola, VTT
- Eeva Ruokonen, Talvivaara
- Olli Nurmi, Fortum
- Juho Helander, Fortum
- Maria Palo, ÅF-Consult
- Veikko Norrman

OPIKSELIJAJÄSENIÄ

- Elina Hakkarainen, LUT
- Anna Nieminen, VTT

Kokouksen 8.3. jälkeen seurassa oli 665 varsinaista jäsentä ja 33 opiskelijajäsentä.

Kunniajäseniä oli 13 ja kannatusjäseniä 18.

Seuran jäseneksi pääsee johtokunnan hyväksymällä hakemuksella.

Hakemukseen tarvitaan kahden jäsenen suositus.

*ATS:n jäsenhakemus internetissä:
<http://www.ats-fns.fi/info/jasenhakemus.html>*

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA —

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



Palautus
Suomen Atomiteknillinen Seura
c/o VTT (Tietotie 3, Espoo)
PL 1000
02044 VTT

Kannatusjäsenet

Alstom Finland Oy
B+Tech Oy
Fennovoima Oy
Fortum Nuclear Services
Mirion Technologies (RADOS) Oy
Platom Oy
Pohjoismainen Ydinvakuutuspooli
Pohjolan Voima Oy
Posiva Oy
PrizzTech Oy
Saanio & Riekkola Oy
Siemens Osakeyhtiö
Teollisuuden Voima Oyj
TVO Nuclear Services Oy
Voimaosakeyhtiö SF Oy
VTT
Wärtsilä Finland Oy
YIT Installaatiot

ATS internetissä:

<http://www.ats-fns.fi>