

ATS

YDINTEKNIikka

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA —

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



4/2010

vol. 39

Tässä numerossa

Pääkirjoitus:

- Keski-ikä saavutettu
– miten mennään eteenpäin? 3

Editorial:

- Middle-age achieved
– how to proceed? 4

- Uutisia 5

- Loppusijoituskapseli
käytetylle polttoaineelle 6

- Kiinteä aine ja plasma kohtaavat:
ITERin ensiseinä ja sen materiaalit 9

- Ydinlaitosten mekaanisten
laitteiden valmistukseen liittyvät
tarkastus- ja valvontamenettelyt 12

- Saksan ydinenergian
myrskyisät taipaleet 14

- Loviisan reaktoripainesäiliöiden
turvallisuuden osoittaminen
vaatii monipuolisia analyysejä 19

- Ydinvoimalaitosten mekaanisiin
komponentteihin liittyvät kokeet
Lappeenrannan teknillisellä
yliopistolla 22

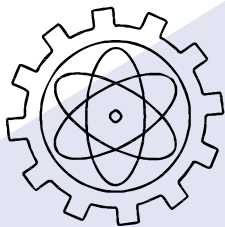
- Impact apparatus
and the impact tests 25

- ATS:n* ekskursio Englantiin
Teollisuuden alkulähteillä 28

- Uutta ydinvoimaa
Englantiin ja Walesiin 29

- Diplomityö 30

- Tapahtumakalenteri 31



ATS

4/2010, vol. 39

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 Holopainen
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 Holopainen
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.



Keski-ikä saavutettu – miten mennään eteenpäin?

Käyvät ydinvoimalaitokset Suomessa ovat saavuttaneet kypsän keski-ian. Takana on käyttöhistoria, jota voi ylpeyttä tuntien tarkastella myös tulevana vuosikymmeninä. Suomen ydinvoimalaitoksilla käyttökertoimet ovat pysyneet korkealla tasolla huolimatta siitä, että olemme vuosien varrella kasvattaneet yksiköiden lämpötehoja ja hyötysuhteita. Naapurimassaamme tilanne on tällä hetkellä vähän huonompi. En kuitenkaan usko, että kyseessä on varsinainen ydinvoimaosaamisessa tapahtunut merkittävä notkahdus. Pikemminkin haasteet käytettävyydessä ovat heillä liittyneet ns. konventionaalisen tekniikan puolella joko komponenttivikaantumisiin liittyviin ongelmiin tai tehonkorotusprojektien valvonnassa tapahtuneisiin laiminlyönteihin. Mielestäni juuri näiltä sektoreilta löytyvät myös Loviisan laitossyksiköiden suurimmat tulevaisuuden haasteet. Kuinka pystyä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa identifioimaan mekaanisissa komponenteissa tapahtuvat sellaiset ikääntymisilmiöt, jotka johtavat korjaustarpeisiin tai korvausinvestointeihin? Korvausinvestoinnit ja erilaiset modernisointihankkeet johtavat puolestaan siihen, että tulevaisuudessa emme pelkäämme tarvitse teknisen alan huipputaiteilijaa, mutta myös henkilöitä, joilla on tällaisen osaamisen lisäksi vankka kokemus projektitoiminnasta.

TÄRKEIDEN JÄRJESTELMIEN ja komponenttien ikääntymisen hallinta on aina ollut oleellinen osa Loviisan voimalaitoksen toimintaa. Molemmilla laitossyksiköillä on luokiteltuna yhteensä yli sataviisikymmentätuhatta laitetta. Kaikkien komponenttien kuntoa ja elinkaarta ei voida tästä syystä seurata yhtä tarkasti. Loviisan voimalaitoksella on tunnustettu rajoitettu määrä ns. kriittisiä komponentteja, joiden elinikä määrittelee laitoksen käyttöiän. Lisäksi käytössä on myös suuri joukko laitteita ja järjestelmiä, joiden toimintakunnolla on suora vaikutus laitoksen turvalliseen käyttöön ja luotettavaan sähköntuotantoon. Näiden mekaanisten laitteiden kuntoa

ja toimintaa seurataan proaktiivisesti laitoksen useiden yksiköiden toimesta osana ikääntymisenhallintaprosessia. Kenties juuri tästä syystä, vielä 30 vuotta käyttöönoton jälkeenkin, järjestelmät ovat hyvässä kunnossa. Uudet käyttöluvut tietysti tuovat haasteita eri laitteiden varaosien saatavuuden ja olemassa olevien laitteiden kelpoistuksen voimassaolon osalta. Loviisassa on jo jonkin aikaa ollut haasteena alkuperäiskomponenttien varaosasaatavuus, johtuen laitostemme alkuperämaassa tapahtuneista suurista muutoksista. Toisaalta korvaavia komponentteja on pystytty löytämään, joskin turvaluokiteltuihin komponentteihin liittyvien dokumentaatioiden osalta ydinvoimalaitosten vaatimukset ovat tulleet joillekin uusille toimittajille yllätyksenä. Tämä on omalta osaltaan johtanut pidentyneisiin toimitusaikoihin. Kaiken kaikkiaan varaosien saatavuus ei ole kuitenkaan osoittautunut ylitsepääsemättömäksi ongelmaksi, kuten ei myöskään laiteoimittajien osaaminen.

SUURIN OSA laitteistoistamme ja järjestelmistämme on perinteistä voimalaitostekniikkaa, ja ehkä juuri siksi olemme Loviisassa onnistuneet korvausrekrytoinnissa saamaan ammattitaitoisia ja motivoituneita tekniikan alan osaajia. Työvoiman saatavuuteen on osaltaan myös viime aikoina vaikuttanut muun teollisuuden haasteellinen toimintaympäristö. Toisaalta erityisasiantuntijoiden palkkaaminen Loviisaan on osoittanut haasteelliseksi, mutta onneksi konserniin on tarvittavaa osaamista saatu rekrytoitua.

PITKÄN AIKAVÄLIN haasteet käyville laitoksillemme ovat käytettävyyden ja turvallisuuden kannalta oleellisten komponenttien ja järjestelmien pitkän tähtäimen vaihto-ohjelmien onnistuminen, ikääntymisenhallintaprosessin toimiminen, tuotannon optimoinnin jatkuva tehostaminen sekä koko organisaation sitoutuminen tekemään oikeita asioita tulevana vuosikymmeninä.

Middle-age achieved – how to proceed?

The operating power plants have achieved their mature middle-age in Finland. The operating record of those plants is something one can be proud of even during the future years. Capacity factors have maintained their top record though both thermal power and thermal efficiency have been updated. The situation in the neighbouring countries is somewhat worse at the moment. However, I don't think that the main reason is the decrease of competence in nuclear engineering. More likely, the problems can be traced to conventional power plant technology, i.e. conventional component failures or lack of sufficient project oversight during upgrades and updates. I suppose the greatest future challenges will be the same also in Loviisa power plant. A crucial issue is to identify those ageing phenomena in mechanical components that will cause need for repairs or repair investments. Repair investments and different modernization projects mean that we shall not only focus on the technical experts but also on those professionals that in addition to technical expertise also have a solid knowhow on project management.

AGING MANAGEMENT of critical systems and components has always been an essential part of operating philosophy at the Loviisa power plant. The number of safety classified components in both units is about 150 000. Therefore the lifecycle of all the components can not be tracked in all possible details. Loviisa power plant has identified a limited number of critical components that in fact determine the technical lifetime of the plant. In addition, there are multiple components and systems that have direct effect on nuclear safety and reliable plant operability. The condition and functioning of these mechanical components is tracked proactively by several organizations at the plant as a part of the

ageing mitigation process. This is probably the reason why the systems are in a good shape even after 30 years of operation. Naturally new operating permits bring us new challenges especially concerning the availability of spare parts and qualification of old systems for longer than their originally designed lifetime. Loviisa has already faced challenges concerning spare parts from the original equipment manufacturers due to tremendous changes in the country of origin. On the other hand, new spare parts have been found. However, documentation requirements for safety system equipment have caused many surprises for new suppliers in nuclear power plant business. This has led into delivery delays. Nevertheless, this has not been a show stopper – new spare parts are available and qualified suppliers do exist.

MOST OF our equipment and systems are conventional power plant technology, and this is probably one of the reasons we have been able to find qualified and motivated personnel in Loviisa. Lately the availability of work force has been affected by unstable and turbulent situation in other industries. On the other hand, it has been a demanding task to recruit very specialized experts in Loviisa. Luckily such personnel has been recruited by the parent company Fortum company.

THE FUTURE challenges for the operating plants will be related to components that are essential for safety and operability of the plant. Long term modernization and upgrading programmes, aging mitigation process, production optimization and enhancement and the commitment of the whole organization to these challenges is the way we are going to proceed. ■

UUTISIA

Ruotsissa konkreettisia lisärakennussuunnitelmia

DAGENS INDUSTRI -lehden mukaan energiayhtiö Vattenfall suunnittelee kahta uutta ydinreaktoria Ruotsiin. Yhtiö on allekirjoittanut nelivuotisen sopimuksen konsulttiyhtiö ÄF:n kanssa yhteistyöstä ydinvoima-, vesivoima- ja tuulivoima-aloilla.

RUOTSISSA ASTUI vuoden 2011 alussa voimaan laki, joka sallii uuden ydinvoiman rakentamisen. Tosin laissa on asetettu ehdoksi, että jokaista uutta reaktoria kohti on suljettava yksi vanhoista, mutta silti on saavutettavissa melkoinen tehonkorotus. Lisäksi Ruotsin käynnissä olevat laitokset on rakennettu 1960- ja 1970-luvuilla, joten niiden turvallinen ja taloudellinen käyttöikä alkaa täyttyä.

VATTENFALLIN SUUNNITELMA merkitsee melkoista uusin voimalaitosinsinöörien tarvetta. Lehtitietojen mukaan ÄF palkkaa 700 uutta insinööriä vuonna 2011.

Lähde:

Dagens Industri <http://di.se>, ÄF: <http://af.se>

STUK lisää säännöstövalmistelun julkisuutta

SÄTEILYTURVAKESKUS (STUK) on avannut Internetissä palvelun, jossa julkaistaan valmisteluvaiheessa olevat säteily- ja ydinturvallisuusohjeet kommentointia varten. Sivusto löytyy osoitteesta <https://ohjeisto.stuk.fi>. Palvelu tarjoaa kaikille asiasta kiinnostuneille mahdollisuuden lukea ja kommentoida säteily- ja ydinturvallisuusohjeita jo luonnosvaiheessa.

STUK VALMISTELEE viranomaisohjeita ydinenergian käytöstä (YVL-ohjeet), säteilyn käytöstä (ST-ohjeet) ja valmiustoitinnasta (VAL-ohjeet). Alan toiminnan harjoittajille asetetaan ohjeissa vaatimuksia, joita noudattamalla voidaan varmistua toiminnan turvallisuudesta. Ohjeista saa lisätietoa STUKin internetsivuilta.

YVL-OHJEITA UUDISTETAAN parhaillaan siten, että ensi vuoden aikana koko nykyinen YVL-ohjeisto korvautuu uudella ohjeistolla. Myös ST-ohjeita uudistetaan säännöllisesti uuden tiedon ja käyttökokemusten pohjalta.

Lähde: STUK

Uudet kansalliset tutkimusohjelmat käynnistymässä

JULKISRAHOITTEISET TUTKIMUSOHJELMAT KYT2014 ja SAFIR2014 käynnistyvät vuoden 2011 alussa. Tutkimusohjelmat ovat nelivuotisia ja ne ovat suoraa jatkumoa aikaisemmille tutkimusohjelmille, joita rahoitetaan Valtion ydinjäterahaston (VYR) kautta ydinenergialain mukaisesti. Keskeisenä tavoitteena on tietämyksen ylläpitäminen ja kehittäminen.

KYT2014-TUTKIMUSOHJELMAN TARKOITUKSENA on varmistaa, että viranomaisten saatavilla on riittävästi asiantuntevasta ydinjätehuollon alalta. Edellisestä ohjelmasta teetettiin kansainvälinen arviointi, jonka tuottamia kehittämis ehdotuksia pyritään toteuttamaan uudessa ohjelmassa. Yleisesti arviointiryhmä totesi kuitenkin tulosten ja rahoituksen olevan tasapainossa.

SAFIR2014-TUTKIMUSOHJELMA KESKITTYY Suomessa toimivien ja rakenteilla olevien ydinvoimalaitosten turvallisuuteen. Sen hankkeet on jaettu kahdeksaan eri alueeseen kuten edel-

lisessäkin ohjelmassa, mutta näiden lisäksi on uutena alueena tutkimusinfrastruktuurin kehittäminen.

KESÄN 2010 periaatepäätösten myötä SAFIR-ohjelman käytettävissä oleva VYR-rahoitus kasvaa aiemmasta noin 3 miljoonasta eurosta noin 5 miljoonaan euroon vuonna 2011. KYT-ohjelman osalta summa nousee nykyisestä noin 1,7 miljoonasta eurosta vasta uusien laitosyksiköiden rakentamisvaiheessa. VTT koordinoi molempia tutkimusohjelmia.

SAFIR2010-LOPPUSEMINAARI PIDETÄÄN 10.-11.3.2011 Espoon Hanasaressa. Seminaarissa esitellään päättyneen tutkimusohjelman keskeisiä tuloksia, joista pyritään myös saamaan artikkeleita ATS Ydintekniikkaan.

Lisätietoja:

<http://www.ydinjatetutkimus.fi>
<http://safir2014.vtt.fi>



Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituskapseli valmistetaan kuparisesta ulkovaipasta ja pallografiittivalurautaisesta sisäosasta. Kuvan kapselikomponentit ovat Olkiluodon 1-2 -laitosten käytetylle polttoaineelle (BWR). Kuva: Posiva / Jussi Partanen

Loppusijoituskapseli käytetylle ydinpolttoaineelle

Suomen neljän käytössä olevan ydinvoimalaitosyksikön, Loviisa 1 ja 2 sekä Olkiluoto 1 ja 2, sekä rakenteilla olevan Olkiluoto 3 -yksikön käytetty ydinpolttoaine on valtioneuvoston periaatepäätösten mukaan tarkoitus sijoittaa Eurajoen Olkiluotoon. Kallioperään tapahtuva loppusijoitustoiminta on suunnitteilla käynnistää Olkiluodossa vuonna 2020 ja kapseloida käytetyt ydinpolttoaineput kallioperään kupari-pallografiittivalurautaisiin kapseluihin. Näiden viiden ydinvoimalaitosyksikön käytetylle polttoaineelle tarvitaan kaikkiaan noin 2800 loppusijoituskapselia. Tässä artikkelissa esitetään lyhyesti loppusijoituskapselien materiaalivalintaa, valmistustekniikoita sekä eri laitosten polttoainesauvanipuille tarvittavia loppusijoituskapselityyppejä.

Posiva Oy tekee käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen tähtäävää tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyötä tavoitteena loppusijoitustoiminnan käynnistäminen Olkiluodon kapselointi- ja loppusijoituslaitoksessa vuonna 2020. Käytetty ydinpolttoaine on tarkoitus eristää usean toisiaan täydentävän vapautumisesteen avulla elollisesta ympäristöstä. Vapautumisesteitä ovat kapseli, puskuribentoniitti, loppusijoitustunnelien täyte ja kallioperä. Periaatteena on, että yhden vapautumisesteen toimintakyvyn vajavuus ei vaaranna pitkäaikaisturvallisuutta. Käytetyt ydinpolttoaineput sijoitetaan suunnitelmien mukaan kupari-valurautakapseluihin pakattuna noin 420 metrin syvyyteen Olkiluodon peruskallioon.

Loppusijoituskapseli muodostuu pallografiittivalurautaisesta sisäosasta ja hapettomasta kuparista valmistetusta ulkokuoresta. Pallografiittivalurauta tekee kapselista mekaanisesti lujan, kupari korroosiota kestävä ja tiiviin. Kallion ja kapselin väliin loppusijoitusreikiin asennetaan tiivisteksi bentoniittisavilohkoja. Bentoniitin tarkoitus on rajoittaa pohjaveden pääsyä kapselin pinnalle ja suojata kapselia kallion pieniltä liikunnoilta.

Kapselityypit

Suomen ydinvoimalaitoksissa on käytössä kahdenlaisia polttoainenuppuja. Rakenteilla olevan Olkiluoto 3 -laitoksen polttoainenuput eroavat näistä, joten kaikkiaan tarvitaan kolme erilaista loppusijoituskapselia.

BWR- ja VVER 440 -reaktorien polttoainenuppuille kapseliin on suunniteltu kaksi toista kanavaa ja EPR-reaktorin polttoainenuppuille neljä kanavaa. Jokaisella kapselityypillä on sama halkaisija, mikä on noin 1,05 m. Loviisan käytetylle polttoaineelle tarvittavan kapselin pituus on noin 3,6 m ja polttoainesauvat ovat poikkileikkaukseltaan heksagonaalisia, kun puolestaan Olkiluodon polttoainenuput ovat poikkileikkaukseltaan nelikulmaisia. Olkiluodon 1-2 -laitosten käytetylle polttoaineelle suunnitellut kapselit ovat pituudeltaan noin 4,8



Kuuma kupariaihio, josta kuumamuokkaamalla valmistetaan kuparikapseli.

m ja polttoainekanavia kapselissa on kaksitoista.

Olkiluoto 3:n käytetylle polttoaineelle suunnitellut kapselit ovat pituudeltaan noin 5,2 m ja kapselissa on neljä kanavaa polttoainenuppuille. Kapselin kokonaispaino mukaan lukien polttoainenuppujen paino on VVER-440-tyypin kapselillä noin 18,6 tonnia, BWR-tyypin kapselillä 24,5 tonnia ja EPR-tyypin kapselillä noin 29,1 tonnia.

Kapselikomponenttien materiaalit

Loppusijoituskapseli koostuu kahdesta pääkomponentista, kuparivaipasta ja pallografiittivalurautaisesta sisäosasta. Kapselin ulkovaippa valmistetaan hapettomasta kuparista, johon seostetaan pieni määrä fosforia materiaalin vurmislujuuden parantamiseksi.

Valurautaisen sisäosan tulee täyttää standardin EN 1563 materiaalin EN-GJS-400-15U laatuvaatimukset mekaanisen lujuuden osalta, mutta materiaalille on asetettu myös lisävaatimuksia. Kapselin sisäosaan käytetään myös teräskomponentteja, kuten teräspuutket, kansi ja kannen kiinnitysruuvi. Teräspuutkia käytetään sisäosaa

valettaessa polttoainekanavien valmistamiseksi jo valun yhteydessä.

Kuparikomponenttien valmistustekniikat

Kuparikapseli on tyypillisesti 50 mm seinämävahvuudella varustettu ympyrälieriö. Loppusijoituskapselin kuparikomponentit, kuparikapseli ja -kansi, valmistetaan kuumamuokkaamalla. Kuumamuokkausprosessin lähtömateriaalina on valettu sylinterimäinen umpiaihio, joka valetaan puolijatkuvalla valulinjalla. Kuparikapselin kuumamuokkausprosessiin tarvitaan aihio, joka on halkaisijaltaan noin 830 mm ja massaltaan noin 13 tonnia.

Kuparikapselin valmistamiseksi Posiva tutkii kolmea vaihtoehtoista kuumamuokkausmenetelmää, joita ovat pistoveto, pursotus ja takominen. Kuparikanet puolestaan koneistetaan kuumapuristetusta aihioista. Kuparikapselin valmistustekniikan kehitystyötä Posiva tekee yhteistyössä Ruotsin ydinjätehuolto-yhtiön, SKB:n, kanssa.

Pisto-veto-menetelmällä on mahdollista valmistaa kuparikapseli, jossa on pohja integroituna kuparivaippaan jo aihion kuumamuokkausprosessin yhteydessä, jolloin



Loppusijoituskapseli Loviisan 1-2 (VVER-440), Olkiluoto 1-2 (BWR) ja Olkiluoto 3 (EPR) reaktorien käytetyille polttoaineelle (vasemmalta oikealle). Kuva: Posiva



BWR-sisäosan kanavien tulkkaus valun jälkeen.

kapseliin on hitsattava vain kansi. Pursotus- ja takomismenetelmillä voidaan puolestaan valmistaa putki, johon myöhemmin prosessissa liitetään hitsaamalla sekä pohja että kansi.

Pisto-veto -menetelmä on käytössä Valourec & Mannesmann Tubes GmbH:n tehtaalla Reisholzissa, Düsseldorfin eteläpuolella. Kuparikapselin valmistuskokeita pisto-veto-menetelmällä on tähän mennessä tehty kaikkiaan jo lähes kaksikymmentä. Valmistusmenetelmä soveltuu erityisesti suurten paksuseinämaisten putkien valmistamiseksi. Pisto-veto-prosessilla kuparikapselia valmistettaessa kuumennettu kuparilieriö tyssätyään yhdellä iskulla pataan, jolloin muokattavan aihion halkaisija kasvaa. Tyssätyä aihiota painetaan tuurnalla siten, että tuurna ei lävistä koko aihiota, vaan sylinterin pohjaan jätetään riittävä paksuus kuparia kapselin pohjan valmistamisen mahdollistamiseksi kuumamuokkausprosessin yhteydessä

Aihion halkaisijan kasvattamisen jälkeen kapseli työnnetään tuurnan avulla veto-renkaan läpi kapselin seinämän muokkamiseksi. Tämän vaiheen jälkeen kapseliihio kuumennetaan uunissa. Valmistusvaihetta toistetaan muutamia kertoja, kunnes kapseliihio on mitoiltaan sellainen, että siitä voidaan koneistaa mittavaatimukset täyttävä kapseli. Kuumamuokkausprosessin loppuvaiheessa myös kapseliihion pohjaa muokataan erityisin työkaluin, jotta pohjan muokkausaste on riittävä tasaisen ja riittävän pienen raekoon saavuttamiseksi lopputuotteessa. Kapselin kuparikomponenteille suoritettavan ultraäänitarkastuksen vuoksi kuparin raekoko saa nykyisin olla maksimissaan 360 µm, jotta tarkastuk-

sessä voidaan saavuttaa riittävä resoluutio mahdollisten virheiden havaitsemiseksi kapselista.

Vaihtoehtoisesti kuparikapselin valmistamiseksi kehitetään pursotusmenetelmää Wyman Gordonilla Skotlannissa ja takomismenetelmää Scana Steel:illä Ruotsin Björneborgissa.

Kapselin sisäosan valmistus

Kapselin sisäosa valetaan pallografiittivaluraudasta. Polttoaineniipuille tarkoitetut kanavat valmistetaan jo sisäosaa valetta-



Tyssätyä kupariaihiota painetaan tuurnalla siten, että tuurna ei lävistä koko aihiota, vaan pohjaan jätetään riittävä paksuus kuparia kapselin pohjan valmistamisen mahdollistamiseksi kuumamuokkausprosessin yhteydessä.



Avonaisen lieriön sisään työnnetään tuurna ja lieriötä työnnetään teräslevyä vasten, jolloin aihion halkaisija kasvaa.

essa käyttäen apuna hiekalla täytettyä tukikehikkoa, joka valmistetaan hitsaamalla teräsputkista. Sisäosa valetaan täyttämällä muotti sulalla raudalla joko muotin ylä- tai alapuolelta. Valun jälkeen sula rauta jähmettyy muutaman päivän ajan, minkä jälkeen muotti puretaan, kanavat puhdistetaan, sisäosasta irrotetaan haluttavat näytteet mekaanista testausta varten ja tulkataan kanavat. Sisäosa koneistetaan haluttuihin mittoihin, minkä jälkeen se tarkastetaan ainetta rikkomattomin menetelmin.

Kapselin sisäosan valukokeita tehdään muutamassa eri valimossa Suomessa, Ruotsissa ja Saksassa. Viimeisimpiä valmistuskokeita on tehty Metsolla Jyväskylässä, Heavycast:illa Karlstadissa Ruotsissa sekä Coswig:in valimossa Saksassa. Kapselin sisäosa suljetaan erillisellä kannella, joka valmistetaan 50 mm paksusta teräslevystä.

Kapselikomponenttien kokoonpano ja käytetyn polttoaineen pakkaaminen

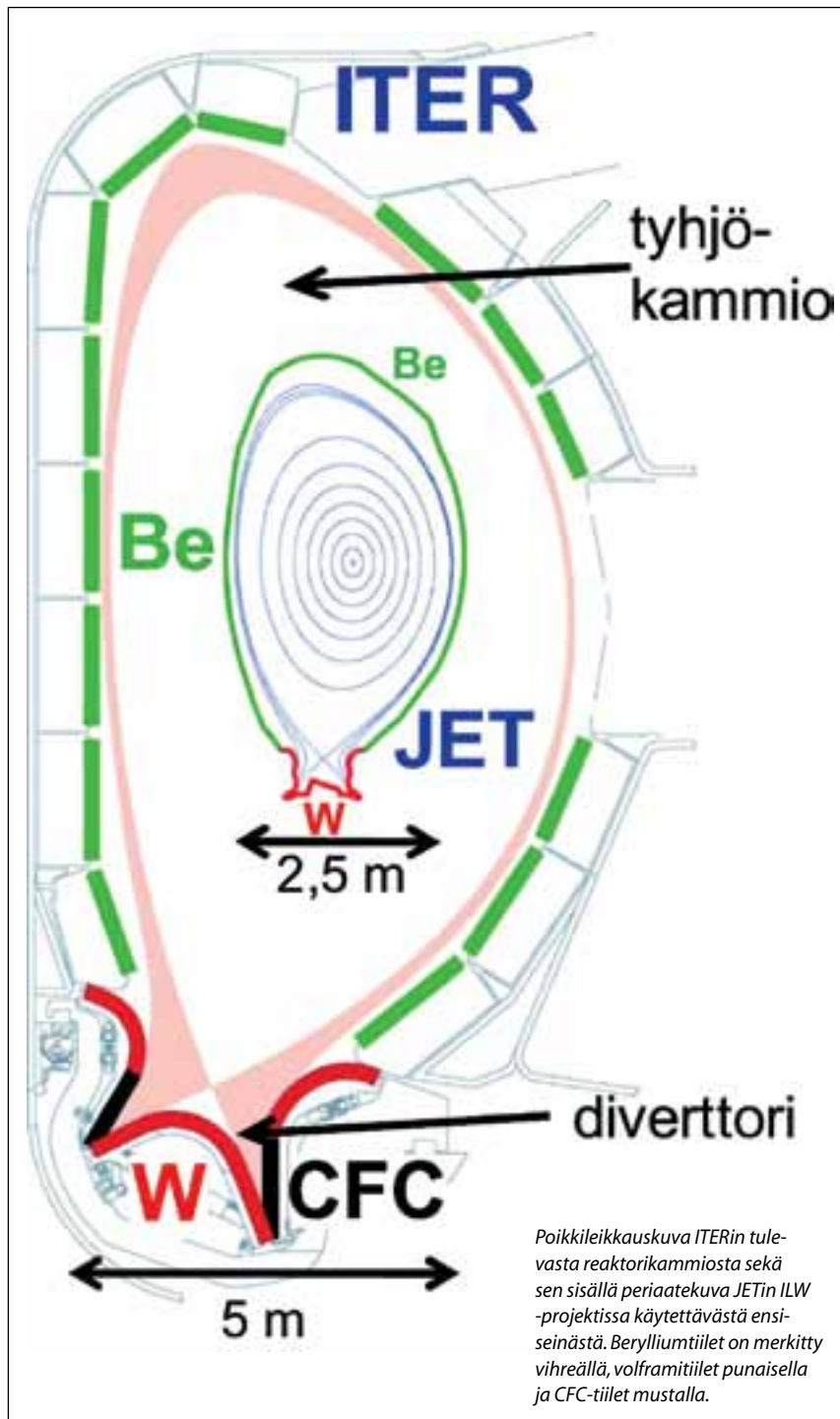
Loppusijoitustoiminnan käynnistyttyä käytetyt polttoaineniiput pakataan kapseliin kapselointilaitoksessa. Kun kapselikomponenteille on suoritettu suunnitellut tarkastukset ja komponentit täyttävät valmistukselle asetetut kriteerit, kapselin valurautainen sisäosa asennetaan kuparikapselin sisään ja kokoonpantu kapseli toimitetaan irrallisten kansien kera loppusijoituslaitokseen. Kun kapseli on pakattu käytetyillä polttoaineniipuilla, se suljetaan teräskannella ja kuparikansi liitetään kuparikapseliin hitsaamalla. Kapselikannen hitsaamiseksi on kehitetty vaihtoehtoisesti sekä elektronisuihku- että kitkatappihitsausta. Hyväksytyjen tarkastusten jälkeen kapseli on valmis siirrettäväksi loppusijoitettavaksi kallioperään.

DI Leena Nolvi
Posiva Oy
Kehitysinsinööri
Tekniikan kehitys -osasto
leena.nolvi@posiva.fi



Kiinteä aine ja kuuma plasma kohtaavat:

ITERin ensiseinä ja sen materiaalit



Magneettiseen koossapitoon perustuvan fuusion valjastaminen energiantuotantoon on ottanut aino harppauksen eteenpäin vuonna 2006 tehdyn ITERin rakentamispäätöksen myötä. ITERin päätavoitteena on demonstroida, että tokamak-tyyppisestä fuusioreaktorista saadaan ulos enemmän energiaa – jopa kymmenkertainen määrä – kuin mitä polttoaineen kuumentaminen fuusiolle otollisiin olosuhteisiin vaatii. Jotta tähän varsin kunnianhimoiseen tavoitteeseen päästään, on seuraavan kymmenen vuoden aikana pystyttävä ratkaisemaan monia fuusioreaktorien teknologiaan liittyviä avoimia kysymyksiä. Yksi merkittävimmistä tutkimuskohteista on reaktorien ensiseinä.

Ensiseinä tarkoittaa sitä osaa fuusioreaktorin tyhjäkammion sisäseinästä, joka ensimmäisenä ottaa vastaan plasmatilassa olevan polttoaineen kuumen syleilyn. Ensiseinä rakentuu tyypillisesti muutaman senttimetrin paksuisista laatoista, tiilistä. Metalleja voidaan käyttää myös ohuina pinnoitteina tiilialustojen päällä. Tokamakeissa ensiseinämateriali on perinteisesti ollut hiili, joko grafiitin tai hiilikuitukomposiitin (CFC) muodossa. →

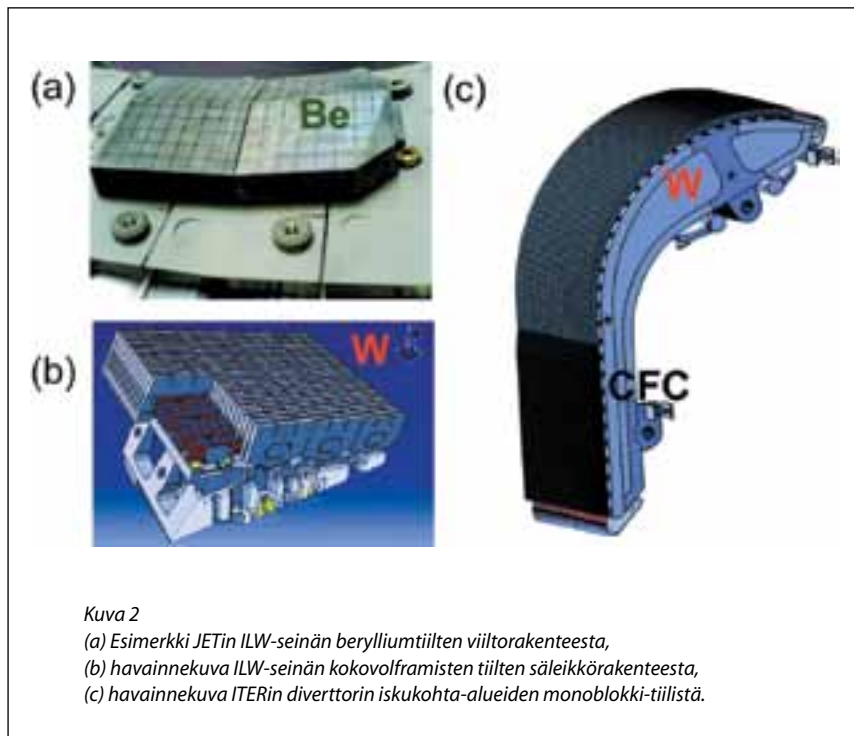
Merkittävänä poikkeuksena mainittakoon saksalainen ASDEX Upgrade, joka on viimeisen 10 vuoden aikana muutettu hiilikoneesta volframikoneeksi.

On monta syytä, miksi hiili on osoittautunut niin oivalliseksi seinämateriaaliksi. Hiilestä valmistetut ensiseinäkomponentit ovat lujia ja kestäviä, ne johtavat hyvin lämpöä ja kestävät suuria tehokuormia sulamatta. Nämä ominaisuudet takaavat, että ensiseinä kestävä esimerkiksi plasman voimakkaat ELM-purkaukset tai jopa koko kuumen plasman ajautumisen seinätiiliä päin. Lisäksi jos hiiltä pääsee epäpuhtautena plasmaan, se käyttäytyy edullisella tavalla: vaikutus keskusplasmaan on varsin pieni ja toisaalta hiili jäähdyyttää plasman reuna-alueita säteilemällä. Kuitenkin ITERissä hiiltä tullaan käyttämään kuvan 1 mukaisesti vain reaktorin alaosassa sijaitsevassa diverttorissa ja sielläkin yksinomaan niissä kohdissa, joissa pintaan osuvat hiukkas- ja energiavuot ovat kaikkein suurimmat.

Rajalliset materiaalivaihtoehdot

Tämä herättää väistämättä kysymyksen, mitä ITERillä on hiiltä vastaan. Varsinkin kun suunnitelmissa on, että ITERin siirtyessä käyttämään deuteriumia ja tritiumia polttoaineenaan noin vuonna 2025, hiilestä hankkiudutaan kokonaan eroon. Suurin rajoittava tekijä hiilen käytölle löytyy sen kokemasta kemiallisesta eroosiosta, jossa plasman vetyionit reagoivat seinäpinnan hiiliatomien kanssa muodostaen erilaisia pinnasta helposti haihtuvia hiiliveytyjä kuten metaania. Nämä hiilivedyt kulkeutuvat ja kerrostuvat reaktorissa usein paikkoihin, joihin on hankala päästä käsiksi ja siten puhdistaa. ITERissä erityisesti tritiumin käyttö aiheuttaa ongelmia: on laskeutu, että säteilyturvallisuussyistä asetettu 700 g:n tritiumraja ylittettäisiin hiiliveytyjen kertymisen vuoksi vain muutaman sadan 300-500 s kestävän plasmapurkauksen jälkeen.

ITERin tämänhetkisen perussuunnitelman mukaan kovimmalle kuormitukselle altistuva diverttori valmistetaan vol-



Kuva 2
 (a) Esimerkki JETin ILW-seinän berylliumtiilien viiltorakenteesta,
 (b) havainnekuva ILW-seinän kokovolframisten tiilien säleikkörakenteesta,
 (c) havainnekuva ITERin diverttorin iskukohta-alueiden monoblocki-tiilistä.

ramista. Volframin eroosio on useita kertalukua pienempää kuin hiilellä, ja lisäksi tritiumin kertyminen volframisiin ensiseinäkomponentteihin on todettu olevan ainakin sata kertaa vähäisempää kuin hiilen tapauksessa. Volframia ei kuitenkaan käytetä ITERin pääkammiossa siksi, että pienetkin volframiepäpuhtaudet plasmasa aiheuttavat suuria säteilyhäviöitä. Tästä syystä näissä osissa reaktoria käytetään kevyttä metallia, berylliumia.

Beryllium kestää suhteellisen hyvin plasman tulista kosketelua ja myös poistaa fuusioreaktorissa epäpuhtautena olevaa happea sitomalla sitä itseensä. Fuusioympäristössä berylliumin eroosio on kuitenkin suurempaa kuin volframilla, ja tritiumin kertyminen berylliumpohjaisiin rakenteisiin on myös merkittävä ongelma. Mikä ikäviintä, varsinkin diverttorialueelle kulkeutuva beryllium muodostaa siellä runsaasti sekamateriaaleja volframin ja hiilen kanssa.

Sekamateriaalit heikentävät ensiseinän eroosiokestävyyttä, ja lisäksi tritiumin kertymisestä sekayhdisteisiin ei ole riittävästi tutkittua tietoa. Beryllium on myös asbestin kaltainen, kroonista keuhkosairautta beryllioosia aiheuttava myrkyllinen ja karsinogeeninen aine, jonka parissa ope-roiminen on työturvallisuussyistä mahdollista vain asianmukaisen koulutuksen saaneille henkilöille.

ITERin ensiseinäyhdistelmän testaaminen käytännössä

ITERin kaltaista materiaaliyhdistelmää ei ole vielä käytetty yhdessäkään nykyisessä fuusioreaktorissa. Jotta ITERin toiminnan alkaisessa ei vastaan tulisi kovin suuria yllätyksiä, on JETissä parhaillaan käynnissä massiivinen operaatio, jossa sen nykyinen, pääosin CFC:stä koostuva ensiseinä korvataan berylliumilla ja volframilla kuten kuva 1 osoittaa. Tässä ns. ITERin kaltaisen seinän (ILW) projektissa testataan eri materiaalien soveltuvuutta ITERin olosuhteisiin ja simuloidaan ITERin toimintaa olemassa olevalla laitteella niin hyvin kuin mahdollista. ILW-projekti alkoi vuoden 2009 lopussa, ja uuden seinän on määrä olla valmis vuonna 2011.

Tärkeimmät tieteelliset kysymykset, joihin ILW-projektilta odotetaan vastauksia, ovat ensiseinä materiaalien kestävyys eri olosuhteissa, pinnasta irronneen aineen kulkeutuminen reaktorissa paikasta toiseen, berylliumin ja volframin välisten sekamateriaalien muodostuminen sekä fuusio polttoaineen kertyminen seinärakenteisiin koekampanjoiden aikana. Yhdessä muista fuusio koelaitoksista saatavan datan avulla ILW-hanke mahdollistaa entistä paremman plasman ja seinämämateriaalien välisen vuorovaikutuksen ymmärtämisen sekä mallintamisen.

ILW-projektissa JETin pääkammio päällystetään suurimmaksi osaksi berylliumista valmistetuilla tiilillä. Tietyille reaktorin sisäreunan alueille, joiden tiedetään altistuvan suurille tehokuormille, asennetaan kuitenkin volframilla päällystettyjä CFC-tiiliä, ja näiden tiilien lähimmät naapurit tulevat olemaan berylliumilla päällystettyjä Inconel-tiiliä. Berylliumitiiliin on sahattu muutaman millimetrin tai senttimetrin syvyisiä viiltoja eri suunnissa, jotta tiiliin kohdistuvat sähkömagneettiset kuormat kuten pyörrevirrat olisivat paremmin hallittavissa. Lisäksi viillotetut tiilet tulevat kestämään lämpöshokkeja tasaisia pintoja paremmin. Esimerkki tiiliten viiltorakenteesta löytyy kuvasta 2(a).

JETin diverttori tulee puolestaan muuttamaan kokonaan volframiseksi. Suurimman osa siitä muodostavat 10-25 µm:n paksuisella volframikerroksella päällystetyt CFC-tiilet. Nämä volframipinnat ovat erittäin kestäviä: niiden on todettu sietävän yli 300 MW/m²:n suuruisia hetkellisiä lämpökuormia yli tuhannen millisekunnin kestoisen tehopolssin ajan. Volframipinnoitteet eivät kuitenkaan kestä kaikkein suurimpia reaktorin toiminnan aikana esiintyviä tehotiheyyksiä. Tällaisissa ääriolosuhteissa riskinä on pinnoitteiden murtuminen tai halkeilu, hauraan volframikarbidin muodostuminen pinnoitteen ja alustan rajapintaan sekä pahimmillaan pinnoitteen täydellinen sulaminen.

ILW-diverttorin kriittisimmille alueille asennetaan tästä syystä kokonaan volframista valmistettuja tiiliä. Nämä tiilet ovat kuvan 2(b) mukaisesti säleikkömäisiä ja rakentuvat muutaman millimetrin paksuisista palikoista, joita yhdessä tiilessä on parisen sataa. Säleikkörakenteella pyritään minimoimaan tiileen kohdistuvat sähkömagneettiset ja mekaaniset jännitykset sekä kesyttämään suurimmat lämpötilagradientit. Samalla tiilistä saadaan tehtyä koh- tuullisen kevyitä.

Tekniset ratkaisut ITERissä

ITERissä pääkammion berylliumitiilet tulevat olemaan JETin ILW-seinän tapaan viil-

lotettuja ja moduulimaisia rakenteita. Myöhemmässä vaiheessa osa moduuleista voidaan korvata berylliumista ja sopivasta keraamisesta litiumyhdisteestä kuten Li₂TiO₃:sta rakentuvilla, tritiumin hyötämiseen tarkoitetuilla vaippaelementeillä. Vaihtoehtona keraamisille moduuleille on käyttää litiumista ja lyijystä koostuvaa hyötöainetta, joka nestemäisenä kiertää vaippaelementissä. Kummassakin tapauksessa fuusioreaktioissa syntyvät neutronit reagoivat litiumatomien kanssa synnyttäen tritiumia. Beryllium tai lyijy huolehtii neutronien monistuksesta.

Diverttorialue on pääkammion seinää huomattavasti haastavampi toimintaympäristö. Tämän vuoksi viimeksi vuonna 2007 diverttorin suunnitelmat käytiin kokonaan läpi, ja monessa kohtaa tehtiin muutoksia diverttorin geometriaan. Ensi vaiheessa plasmapurkauksen iskukohtiin diverttorialueella asennetaan CFC:stä valmistettuja tiilelementtejä, ns. monoblokkitiiliä, jotka koostuvat 1,5 senttimetrin paksuisista palikoista kuvan 2(c) mukaisesti. Vierekkäiset palikat on liitetty toisiinsa palikoiden sisällä kulkevilla CuCrZr-metalliseoksesta valmistetuilla jäähdytysputkilla. Jäähdytyksellä varmistetaan, että seinätiilien lämpötila pysyy kaikissa olosuhteissa 240-350 asteessa.

Iskukohtien yläpuolisilla alueilla käytetään vastaavanlaista volframirakennetta, jossa kunkin palikan paksuus on 0,8 cm. Muualla diverttorissa tullaan käyttämään myöskin pienistä palikoista rakentuvia volframitiiliä, mutta monoblokeista poiketen palikat on hitsattu CuCrZr-välikerroksen avulla kiinni teräselementteihin. Suunniteltu tehonkestävyys on 5 MW/m² jatkuvaa tehoa ja 10 MW/m² korkeintaan 2 s ajan volframille; CFC:lle vastaavat luvut ovat 10 MW/m² ja 20 MW/m² maksimissaan 10 sekunnin ajan.

ITERin ensiseinään liittyy muitakin haasteita kuin yllä käsitellyt materiaaleihin liittyvät kysymykset. Esimerkiksi reaktorissa oleva pöly voi sisältää runsaasti tritiumia, ja pölyn poistaminen tokamak-kammioista onkin yksi eurooppalaisen fuusiotutkimuk-

sen painopistealueista seuraavien vuosien aikana. Lisäksi tärkeää olisi saada puhdistettua kalliit ensiseinäkomponentit niihin kertyvästä tritiumpitoisesta kuonasta reaktorin huoltoseisokkien aikana. Eikä sovi unohtaa, että materiaalien elinikä voidaan kasvattaa niihin kohdistuvia tehokuormia pienentämällä. Plasman muotoilu, epäpuhtauksien syöttäminen diverttorialueen plasmaan sitä jäähdyttämään sekä rajuimpien hiukkaspurkausten kesyttäminen ovat tässä keskeisessä roolissa.

Ensiseinä tutkimus Suomessa

Suomen fuusioyhteisö on aktiivisesti mukana ensiseinämateriaaleihin liittyvässä tutkimuksessa Euratom-Tekes-assosiaation kautta. Erityisenä painopistealueena ovat materiaalien kulkeutuminen, ensiseinärakenteiden eroosio sekä vetypolttoaineen kertyminen seinätiiliin.

Osa työstä on puhtaasti kokeellista – tutkitaan fuusioreaktoreista poistettuja seinätiiliä erilaisia ionisuihkuanalyysitekniikoita apuna käyttäen – mutta suurin osa siitä liittyy plasman ja seinämän välisen vuorovaikutuksen sekä eri alkuaineiden kulkeutumisen mallintamiseen. Tutkimus on keskittynyt VTT:lle sekä Aalto-yliopistoon, mutta myös Helsingin yliopistossa tehdään töitä molekyyliidynaamisten simulointien parissa. Suomi on myös mukana ITERin ensiseinän puhdistamiseen keskittyvissä hankkeissa.

Tutkimusta tehdään läheisessä yhteistyössä useiden eurooppalaisten fuusiokeolaitosten sekä tutkimusinstituuttien kanssa. Näistä tärkeimmät ovat JET Englannissa, Max-Planck-Institut für Plasmaphysik sekä Forschungszentrum Jülich Saksassa, Tore Supra -fuusioreaktori Ranskassa, hollantilainen FOM-assosiaatio ja Tarton yliopisto Virossa.

TkT Antti Hakola
VTT
tutkija
Fuusio- ja plasmateknologia
antti.hakola@vtt.fi



Ydinlaitosten mekaanisten laitteiden valmistukseen liittyvät tarkastus- ja valvontamenettelyt

Ydinlaitosten mekaanisten laitteiden, kuten painesäiliöiden, putkistojen, venttiilien, pumppujen sekä monien muiden komponenttien ja rakenteiden valmistuksessa tulee noudattaa ydin- ja painelaiteturvallisuuden liittyvän lainsäädännön ja tällä perusteella laadittujen yksityiskohtaisempien YVL-ohjeiden asettamia vaatimuksia. Ne edellyttävät, että laitteiden ja komponenttien suunnittelu ja valmistus toteutetaan kehittyneiden laadunhallintamenettelyjen mukaisesti ja että laitteet valmistetaan, testataan ja tarkastetaan hyväksytyjä suunnitelmia noudattaen. Tärkeimpiä mekaanisten laitteiden laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat mm. käytettävät rakenneaineet, valmistusmenetelmät pätevänteen sekä valmistuksessa käytettävät laitteet kuten myös valmistusorganisaation toimintaa ohjaavat laatuohjeet.

Valmistettavan painelaitteen tai muun mekaanisen komponentin työsuorituksen laatua ei voida kaikilta osin todentaa vasta valmistuksen jälkeen tehtävissä rakennetarkastuksissa, mistä syystä laatua on valvottava myös valmistuksen aikana. Valmistuksen valvonnalla varmistetaan siten laitetoimituksen vaatimustenmukaisuuden täyttymistä niin, että mahdolliset poikkeamat ovat korjattavissa oikea-aikaisesti jo valmistuksen yhteydessä.

Mekaaniset laitteet ja rakenteet jaetaan turvallisuusmerkityksensä perusteella joko ydinteknisiin (turvallisuusluokka 1-4) tai tavallisiin (luokka EYT) paine- ym. laitteisiin. Tämä turvallisuusluokitteluun perustuva jako on keskeinen sen suhteen, kuinka mekaanisten laitteiden ja rakenteiden valmistusta valvotaan ja miten valmiit komponentit tarkastetaan. Pääsääntöisesti on niin, että STUKin tehtävänä on valvoa ja tarkastaa turvallisuusluokkien 1 ja 2 laitteiden ja rakenteiden valmistusta, kun taas STUKin hyväksymä ja valvoma tarkastuslaitos kohdistaa toimintansa turvallisuusluokkien 3 ja 4 komponentteihin. Luokan EYT painelaitteiden valmistus toteutetaan tavallisia paine-

laitteita koskevan lainsäädännön mukaan, mikä ei kuulu STUKin valvonta-alueeseen ennen käyttöönottotarkastuksia.

Valmistusta edeltävät hyväksynnit

Ennen valmistuksen aloittamista edellytetään luvanhaltijan varmistavan, että valmistaja, sen laadunhallinta sekä valmistukseen liittyvät suunnitelmat ovat asianmukaiset ja STUKin tai hyväksytyt tarkastuslaitoksen hyväksymät. Tähän liittyviä selvityskohteita ovat mm. valmistajan, testaus- ja tarkastuslaitosten sekä rakenne suunnitelman hyväksyntä.

Rakennesuunnitelma käsittää kyseiseen laitehankintaan liittyen mm. laadunvalvontasuunnitelman, suunnitteluasiakirjat, valmistussuunnitelmat sekä testaus- ja tarkastussuunnitelmat. Kun näille suunnitelmille on hankittu olennaisilta osiltaan STUKin tai hyväksytyt tarkastuslaitoksen hyväksyntä, voidaan valmistus aloittaa.

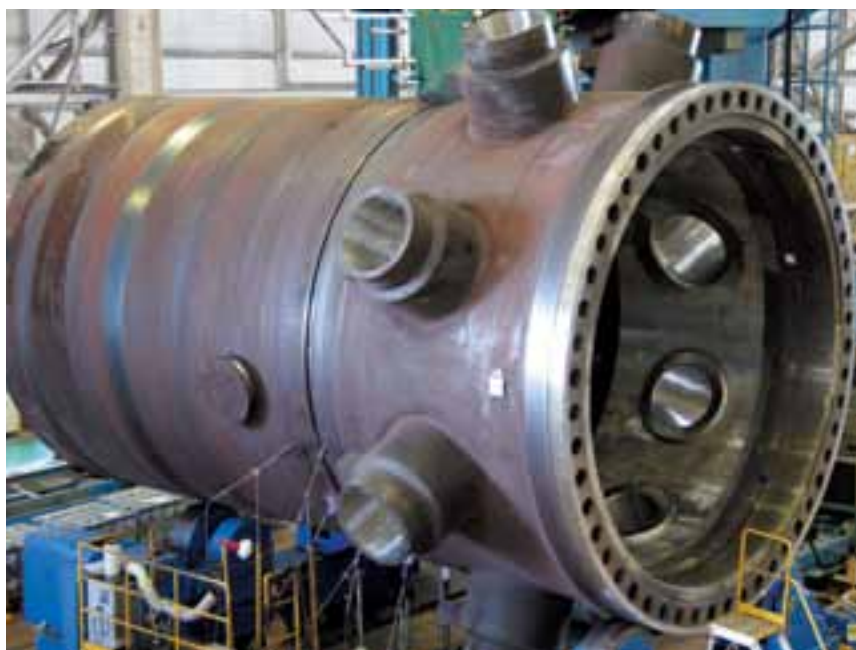
Valmistuksen valvonta

Ydinteknisten painelaitteiden ja muiden komponenttien valmistusta valvotaan ohjeen YVL 1.14 edellyttämässä laajuudes-

sa. Laitevalmistajan on huolehdittava siitä, että ydinteknisen valmistuksen edellyttämälle korkealaatuiselle toiminnalle on edellytykset ja että valmistus tapahtuu hyväksytyt rakennesuunnitelman ja YVL-ohjevaatimusten mukaisesti. Laite/laitostoitajan sekä luvanhaltijan tulee varmistaa toiminnan asianmukaisuus ennen valmistuksen aloittamista ja sen aikana.

STUK tai STUKin hyväksymä tarkastuslaitos kiinnittävät valmistuksen valvonnassa huomiota mm. seuraaviin seikkoihin:

- Valmistajalla on oltava käytössään menettelytavat, joiden avulla henkilöstöä pätevoidään ja pätevyyskysymyksiä ylläpidetään.
- Pätevöityjen henkilöiden tulee tehdä ne työsuoritukset, joiden lopullista laatua ei voida todentaa valmistusta tuotetta tarkastettaessa. Tämä koskee mm. hitsaajia ja mekanisoitua/automatisoitua hitsausta valvovia hitsausoperaattoreita.
- Valmistajalla on oltava ohjeet, joissa esitetään rakenne- ja hitsausaineiden käsittely- ja varastointimenettelyt. Rakenne- ja hitsausaineiden tunnistettavuus tulee säilyttää kaikissa valmistusvaiheissa. Ainoastaan tarkastuksin hyväksytyt rakenne- ja hitsausaineet saa ottaa käyttöön.
- Valmistajan tulee huoltaa valmistuksessa käytettävät koneet ja laitteet hyväksytyt huoltosuunnitelman mukaisesti.
- Vaatille työmenetelmille, kuten hitsaukselle, muokkaukselle ja lämpökäsittelylle tulee olla hyväksytyt työohjeet. Esimerkiksi hitsausohjeiden tulee olla menetelmäkokein pätevoidä. Vaativissa työkohteissa edellytetään lisäksi työkohteita tai valmistuksen osana tehtäviä tuotannollisia kohteita.
- Laitevalmistuksen tulee tapahtua hyväksytyt rakennesuunnitelman mukaisesti. Valmistusta tulee valvoa rakennesuunnitelman yhteydessä ennakkoon tarkastetun laatusuunnitelman mukaisesti.



OL3-reaktoripainesäiliön valmistusta. Laitostoimittaja ja luvanhaltija valvoivat reaktoripainesäiliön valmistusta tehtaalla koko valmistusajan. Lisäksi STUK valvoi valmistusta ja teki lukuisia rakennetarkastuksia tehtaalla noin 1 kk välein valmistuksen aikana. Kuva: TVO/AREVA.

- Tarvittavat testaukset ja tarkastukset tulee tehdä hyväksytyjen menettelyjen mukaisesti. Ainetta rikkomattomien testajien tulee olla päteviä ohjeessa YVL 1.3 esitettyjen vaatimusten mukaisesti.

STUK valvoo turvallisuusluokkien 1 ja 2 laitevalmistusta tärkeimmissä valmistusvaiheissa, jotka määritellään rakennesuunnitelman osana ennakkoon hyväksytyssä laatusuunnitelmassa. STUKin lisäksi valmistusta valvovat YVL-ohjevaatimusten mukaisesti myös valmistaja, laite/laitostoimittaja, valmistusta valvova kolmas osapuoli sekä luvanhaltija. Valvonnan laajuus riippuu laitteen tai rakenteen turvallisuusmerkityksestä. Esimerkiksi tärkeimpien ydinteknisten painelaitteiden valmistuksen valvonta on käsittänyt säännölliset tarkastuskäynnit valmistajatehtaille. Niiden yhteydessä arvioidaan valmistuksen asianmukaisuutta yleisesti sekä tehdään laatusuunnitelman mukaiset tarkastukset. Näitä voivat tyypillisesti olla vaativat valmistusvaiheet, kuten tärkeimmät hitsaukset, tietyt rikkomattomat ja rikkovat testaukset sekä laitteen tai rakenteen lopullinen rakennetarkastus.

Rakennetarkastus

Rakennetarkastuksen avulla varmistetaan, että laite tai rakenne on valmistettu hyväksytyyn rakennesuunnitelman ja hyväksytyjen menettelytapojen mukaisesti. Lisäksi rakennetarkastuksessa todetaan, että laitetta tai rakennetta on käsitelty asianmukaisesti niin, ettei sen kestävyys tai toiminta vaarannu tulevan käytön aikana.

Rakennetarkastus tehdään ohjeen YVL 1.15 mukaisesti. Tarkastuksen edellytyksenä on, että laitteen tai rakenteen rakennesuunnitelma on hyväksytty ja että valmistaja, laite/laitostoimittaja sekä luvanhaltija ovat todenneet tarkastuskohteen olevan rakennesuunnitelman mukainen. Rakennetarkastukseen kuuluu mm. valmistukseen ja sen laaduntarkastukseen liittyvien tarkastuspöytäkirjojen ym. tulosaineiston tarkastaminen, laitteen tai rakenteen fyysinen tarkastus sekä tunnistemerkinän todentaminen, painelaitteen tapauksessa painekokeen valvonta sekä painekokeen jälkeiset tarkastukset, tarvittaessa tehtävät kuormitus- ja tiiveyskokeet sekä toimintakokeet.

Rakennetarkastus tehdään valmiille laitteelle tai rakenteelle pääsääntöisesti valmistajan tiloissa ennen toimitusta laitospaikalle. Suuremmissa laitetoimituksissa voi olla tarpeen tehdä jo valmistuksen aikana riittävä määrä rakennetarkastuksen osatarkastuksia. Näin on toimittava myös silloin, kun osa rakenteista jää piiloon valmistuksen edetessä. Osatarkastusten ajoittuminen eri valmistusvaiheisiin tulee määrittellä rakennesuunnitelmassa.

Valvonnan tavoitteet

STUKin suorittamalla valmistuksen valvonnalla ja rakennetarkastuksilla pyritään varmistamaan, että painelaitteiden ja muiden komponenttien toteutuksessa noudatetaan hyväksytyjä menettelyjä ja että laite/rakenne valmistuu vaatimusten mukaiseksi.

STUKin suorittama valmistuksen valvonta ja tarkastukset kohdistuvat pääsääntöisesti turvallisuusluokan 1 ja 2 laitetoimituksiin, kun taas STUKin hyväksymät tarkastuslaitokset vastaavat alempien turvallisuusluokkien tarkastuksista. Tarkastusaluejakoa ja tarkastuslaitosten valvontamenettelyä, samoin kuin muita tulevaisuuden menettelytapoja, mietitään STUKissa meneillään olevassa YVL-ohjeuudistuksessa OL3-kokemusten ja tulevien laitoshanketarpeiden näkökulmasta.

Martti Vilpas
Ryhmäpäällikkö,
Rakenteet ja laitteet
STUK,
Ydinvoimalaitosten valvontaosasto
martti.vilpas@stuk.fi

Juhani Hinttala
Toimistopäällikkö,
Valmistustekniikka
STUK,
Ydinvoimalaitosten valvontaosasto
juhani.hinttala@stuk.fi

Soile Metso
Ylitarkastaja,
Valmistustekniikka
STUK,
Ydinvoimalaitosten valvontaosasto
soile.metso@stuk.fi



Mielenosoittajia Gorlebenin lähellä lokakuussa 2008.
Kuva: Paula Scramm (via Wikimedia Commons)

Saksan ydinenergian MYRSKYISÄT taipaleet

Saksan ydinenergiaa vastaan puhaltava myrsky nousi jo 70-luvulla; aikakaudella ei tarvinnut taistella tuulimyllyjä vastaan. Harrisburgin ja Tšernobylin onnettomuudetkin olivat hamassa tulevaisuudessa. Rajuilmaa kesti lähes 30 vuotta, kunnes puna-vihreän hallituksen tekemä päätös ydinvoimasta luopumisesta taannutti puhurin. Tyventä kesti kahdeksan vuotta. Vaaliteemanakin ollut atomienergia ei aiheuttanut suurempaa kohua vaalien 2009 aikana. Kun nykyhallitus alkoi konkreettisesti valmistella ydinvoimalaitosten käyttöä pidennystä, tornado pyyhkäisi jälleen valtakunnan yli.

Vastakkainasettelu ydinvoiman ympärillä ei ole ollut missään muussa maassa niin vahvaa kuin Saksassa. Ydinvoiman protestoinnilla onkin valtakunnan ylivoimainen ennätys mielenosoitusten luku- ja osanottajamäärissä. Se on

myös yksi merkittävimpiä liikekannallepanoja liittovaltiossa. Suurempia ihmismassoja ovat repäisseet sohvalta toisen maailmansodan jälkeen ainoastaan kaksi tapahtumaa: Berliinin muurin murtuminen 1989 ja 60-luvun lopun opiskelijamellakat, joi-

den vasemmasta äärlaidasta syntyi aikanaan myös terroristijärjestö RAF.

Vastarinnan pioneirit olivat emäsikoja

Pikkuruinen Wyhl Lounais-Saksassa lähellä Ranskan rajaa valittiin laitospaikaksi vuonna 1973. Tarkoituksena oli rakentaa kaksi noin 1300 MW:n laitosyksikköä Reinin rannalle. Paikalliset maan- ja erityisesti viiniviljelijät olivat kuitenkin huolissaan, että laitoksen lauhdetorneista nouseva ydinsavu vahingoittaa elintärkeää satoa. Höyrypilven pelättiin vähentävän auringonvalon pääsyä viinitarhoihin ja lisäävän paikallisilmaston kosteutta, mikä pahentaisi rypäleiden homeriskiä. Ydinvoimaprojektista suivaantuneina viljelijät maalasivat puls-

Reittikartalla varustettu juliste kutsuu
CASTOR-kuljetuksen vastaiseen toimintaan 23.10.2010.
Kuva: Castorstrecken-Aktionstag, <http://www.castor-strecken-aktionstag.de/>.

keiden emäsikojen kupeet banderolleiksi ja vilistivät kulkueena komeine emakkoineen läheisen pikkukaupungin läpi. Vihreä liikehdintähän alkoi ydinvoiman vastustamisesta, joten sen syvimmat juuret lienevät itse asiassa possunpunaiset.

Wyhlin ensimmäisen laitossyksikön rakennustyöt aloitettiin vuonna 1975. Mielenosoitukset paisuivat nopeasti sympatidisesta emakkolaumasta suurempaan mitakaavaan, ja jo samana vuonna työmaa vallattiin puoleksi vuodeksi. Voimayhtiö oli aloittanut rakennustyömaan pystytyksen ennen lopullista rakennuslupaa, mikä loi pohjaa myös monitahoisille juridisille tulkinnoille.

Maan tapaan asia päättyi nopeasti oikeuteen. Vastustajat saavuttivat lähialueilla riittävän kunnallispoliittisen tuen, joten oikeusprosessin kantajana olivat lukuisat ympäristökunnat ja vain joitakin yksittäisiä kansalaisia. Oikeusasteesta riippuen päätöksiä oli niin vastaan kuin puolestakin. Oikeuden puolesta vihreä valo välähti 1982. Uutta kylmää vettä tuli kuitenkin niskaan osavaltion pääministeriltä, jonka mielestä laitoksen sähköä ei tarvittu vielä 10 vuoteen. Viisi vuotta myöhemmin hän vahvisti kantansa kauemmas tulevaisuuteen. Aikajänne olikin sitten jo riittävä, jotta laki ydinvoimasta luopumisesta ehti tulla voimaan.

Wyhlin tapahtumat edustivat monella tapaa murrosta: mielenosoitusaalto oli ensimmäinen laatuaan, mutta samalla viimeinen täysin rauhanomaisena säilynyt. Lisäksi oli saavutettu ensimmäinen erä- ja oteluvaitto periaatteessa jo vuonna 1983. Siitä oli hyvä ponnistaa tuleviin taisteluihin varsinkin, kun kolme vuotta myöhemmin Tšernobylin onnettomuus toimi jojoavana katalyyttinä.

Sisällissodasta välirauhaan

Yksi mielenosoitusten huipentumista tapahtui 1986 Wackersdorfissa vain muutama viikko ennen Tšernobyliä. Lähes sata-tuhatta ihmistä vastusti jälleenkäsittelylaitoksen rakentamista. Joukkoja hajotettiin helikopterista kaasukranaatein. Mellakak-

si riistäytyneessä tapah-
tumassa ei säästytyt kuolonuhreilta.

Tšernobylin jälkeen vastarinta jälleenkäsittelylaitosta kohtaan kasvoi, ja voimallisia mielenosoituksia oli samana vuonna useita. Joka kerralla sekä loukkaantuneita että vangittuja oli useita kymmeniä. Vahingoittumisten, kuolonuhrien ja aatteellisuuden vuoksi ilmiötä alettiin kutsua kansalaisodaksi. Paikallinen kihlakunnanoikeus jouduttiin remontoimaan terrorismin kestäväksi. Kaikesta huolimatta rakentaminen alkoi 1987, mutta keskeytettiin kaksi

vuotta myöhemmin. Ilmapiiri Tšernobylin jälkimainingeissa kävi mahdottomaksi, ja vaihtoehtoratkaisuksi löydettiin jälleenkäsittely Ranskan La Haguessa.

Wackersdorfina kaltaisia tilanteita koettiin myös monilla laitospaikoilla, joita rakennettiin 70-luvun lopulla ja 80-luvun alussa. Tämän jälkeen vuorossa olivat lukuisat Castor-säiliöiden kuljetukset. Kun jälleenkäsittelylaitos peruuntui, myös usean laitospaikan laajennussuunnitelmat haudattiin arkiston syövereihin 80-luvun lopussa. Lopun alku alkoi hämmöttää, kun vuonna 1998 Castor-säiliöiden kuljetuksissa ylittyi sallittu pintakontaminaatio. Virhe oli säteilyturvallisuuden kannalta merkityksetön, mutta johti poliittisella tasolla Castor-kuljetusten keskeytykseen. Välivarastottomat laitossyksiköt olivat umpikujassa ja painostettavissa. Puna-vihreä hallitus ja voimayhtiöt aloittivat atomipoliittiset keskustelut, joiden tavoitteena oli lopettaa ydinvoiman kaupallinen käyttö sähköntuotantoon.

Hallitus ja voimayhtiöt allekirjoittivat 11.6.2001 "Atomikonsensuksen", jossa ydinvoiman tuotantobudjetiksi sovittiin 2623 TWh. Tämä vastasi noin 32 vuoden



käyttöikää. Budjetti jyvitetiin myöhemmin kunkin laitossyksikön tuotantokatoksi. Laitosten nuoresta käytöstäpoistoiästä johtuen turvallisuusvaatimusten kiristämistä luovuttiin. Varsinainen laki ydinvoimasta luopumisesta astui voimaan 22.4.2002. Maassa vallitsi rauha.

Nukkuva karhu herää

Hiljaista rauhanaikaa kesti vajaa kymmenen vuotta. Suvantovaihe oli omiaan parantamaan julkista mielipidettä, ja käyttöön pidennyksiin oli vielä ennen vaaleja kohtalaisen myönteinen suhtautuminen. Rivikansalaisen suhtautuminen ydinvoimaan selvästikin lieentyi, kun ympäröivästä maailmasta tulevat tietoärsykkeet ovat niin poliittisesti kuin teknisestikin harmaata massaa. Erityisesti Saksassa lehdistön laajempimittakaavainen kiinnostuminen aiheesta johtaa aina ryöpytykseen. Neljänellä valtiomahdilla on opettajien ohella suurimmat kerrannaisvaikutukset, joten mielipidemuokkaus on taattua.

Vuoden 2009 liittopäivävaalit menivät hyvin rauhallisissa merkeissä, vaikka ydinvoima oli selkeä vaaliteema kristillisde-

mokraateilla ja liberaaleilla. Kyseiset puolueet voittivat vaalit, ja käyttöiän pidentykset kirjattiin hallitusohjelmaan. Hallitus kuitenkin junnasi asian kanssa vuoden päivät tekemättä juuri mitään, sillä kristillisdemokraatit halusivat hyssyttellä asiansa Nordrhein-Westfalenin osavaltiovaaleihin saakka. Osavaltio on Saksan väkirikkein ja siten poliittisesti tärkeä. Kristillisdemokraatit eivät halunneet menettää kyseisen osavaltion hallitusvaltaansa. Osavaltiovaalit menivät hyssyttelystä huolimatta penkin alle, joten oli aika alkaa toteuttaa hallitusohjelmaa. Liittokansleri **Merkel** ilmestyi kaikkien yllätykseksi puun takaa polttoainenenippuverollaan, joka repi hallituksenkin rivejä. Herkullinen soppa oli valmis lehdistön ruodittavaksi.

Valtamediat ovat pyörittäneet ydinvoimaa ja käyttöiän pidennyksiä yhtenä pääuutisenaan kuukausia, koska aihe on poliittisesti edelleen kuuma. Lisäksi hallituspuolueiden näkemuserot toteutusmallista ovat synnyttäneet viikoittain hyviä otsikoita. Ydinvoimaa vastustava oppositio on ottanut hallituksen eripurasta kaiken irti ja käyttänyt voimaansa niin päätöksentekopiireissä kuin lehdistönkin suuntaan. Parlamenttikäsittelyssä otettiin käyttöön Euroopassa harvinainen filibusterointi, jossa vähemmistö estää tai viivyyttää enemmistön päätöksiä venyttämällä puheenvuoronsa yöhön.

Neutraalia tai positiivissävytteistä lehtiartikkeliä saa hakea kuin neulaa heinäsuovasta. Merkillepantavaa on keskustelujen täydellinen polarisoituminen: uusiutuvat vastaan ydinvoima. Kukaan ei mainitse sanallakaan rusko- tai kivihiltä, vaikka valtakunnalla olisi sillä sektorilla ilmastonmuutosmielessä paljon kotitehtäviä!

Median ohella kenttätöiminta uinui rauhan aikana talviunta. Mielenosoitusten keskosuosikki on ollut Castor-säiliöiden kuljetukset. Käytetty polttoaine viedään Saksasta Ranskan La Hagueen jälleenkäsiteltäväksi. Fissiotuotteet palautetaan ja välivarastoidaan Gorlebeniin. Kuljetuksista kuulee työnsä puolesta laaja joukko, joten tietovuodon ajankohdan voi laskea tunneissa.

Sähköisellä medialla, kuten Facebook-ryhmillä, tavoittaa suuria joukkoja nopeasti. Löytyypä netistä "Castor-Alarm"-sivustojakin, joilta voi tilata hälytyksen tekstiviestinä kuljetuksen alkamisesta eli "Päivän X" koittamisesta. Niinpä Ranskasta marraskuun alussa hissun kissun körötellyt tavarajuna oli helppo kohde. Yhdeltä välikohtaukselta tosin vältyttiin, kun junan reittiä yllättäen muutettiin heti sen saavutettua Saksan puolelle.

Marraskuun Castor-kuljetuksen turvaamiseksi oli komennettu lähes 20 000 poliisia. Arvoit mielenosoittajamäärästä vaihtelevat 30 000:n ja 50 000:n välillä. Mukana oli myös mielenosoitusten todellisia veteraaneja, joille rauhanajan toimistotyö oli tylsääkin tylsempi mielipidevaikuttamisen muoto. Mieli hinkui kentälle, johon nyt tarjoutui oiva mahdollisuus.

Viranomaistoimenpiteiden suunnittelu oli kohtalaisen helppoa, sillä näin iso mielenosoitus on järjestäjälleenkin logistisesti haastava. Pelkästä bussiparkkialueiden laajuudesta voi isovelvi ennustaa osallistujamääriä. Viranomaistoiminta kuuluu osavaltion julkiseen sektoriin, mutta tapahtumasta aiheutui huomattavat kertaluonteiset kulut. Maksajaksi on julkisen sektorin sijaan ehdotettu niin voimayhtiöitä kuin mielenosoittajiaakin.

Kuka heitti ensimmäisen kiven?

Mielenosoituksissa yksittäisiä kiviä on napsittu aseeksi lähes kautta koko historian. Takavuosina kivi- ja Molotovin cocktail -sateessa työskentely on noussut poliisien työehtosopimusneuvottelujen aiheeksi. Tämänkertainen Castor-kuljetus oli kuitenkin ensimmäinen, jossa yritettiin suunnitelmallisesti tuhota rautatie. Tarkoitus oli heitellä joukkovoimin kiviä pois kiskopedistä, kunnes montun suuruus estää junan yliajon. Tekoon kehoitettiin ennalta muun muassa Facebookissa. Sekä rataverkon tarveleminen että siihen yllyttäminen ovat luonnollisesti rikoksia. Tihutyö jäi tällä kertaa puolitiehen, koska toimet tilanteen hallitsemiseksi olivat massiiviset. Jälkipyykinä mm. poliisin toiminta on suurennuslasin

alla, koska 2200 pippurisumutepatruunan käyttöä epäillään ylilyönniksi.

Jatkoajan kova hinta

Hallitus sai kinoistaan ja vastustuksesta huolimatta lopulta aikaan pelisäännöt käyttöiän pidennyksille. Suunnan muutos on todella merkittävä Saksan ydinallale: pahimmassa tapauksessa seitsemän laitossyksikköä olisi voinut kokea kohtalonsa tällä hallituskaudella. Parlamentti vahvisti lakiehdotuksen 28.10.2010. Koska ydinvoima on hallitusohjelman mukaan "silta-tekniologia", ydinenergiain tarkoituksena on edelleen päättää atomivoiman käyttö sähköntuotannossa. Lisäaika saatiin muuttamalla laissa olevaa tuotantokattoa. Voimalaitokset saavat tuottaa vielä ylimääräiset 1804 TWh, mikä jatkaa entistä noin 32 vuoden käyttöikää keskimäärin 12 vuodelle. Vuoden 1980 jälkeen käyttöön otetut yksiköt voivat käydä 14 lisävuotta. Tätä ennen verkkoon kytketyt laitokset saivat 8 vuotta jatkoaikaa.

Käyttöikäarviot eivät ole kovin tarkkoja, sillä kerääntyneet megawattitunnit määräävät, koska tuotantovaihe päättyy. Toteutuville käyttökertoimilla on siten selvä vaikutus lopulliseen käyttöikään. Pitkän ajan energiastrategiassa on visioitu huimaa kasvua uusiutuvalle energialle, joten poliittinen näkemys on, että käyttökertoimet tippuvat 85 %:n paikkeille jo kymmenen vuoden kuluttua. Yksittäisten laitosyksiköiden kohdalla osateholla nilkuttamista ja pidennettyjä revisioita voidaan harrastaa omaehtoisestikin, jotta yksikkö voidaan pitää verkossa seuraavien vaalien yli. Käyttökokemukset tästä strategiasta ovat positiiviset aivan lähimenneisyydestä.

Pidennyksen vaakakupissa ovat uusi polttoainevero ja maksut uusiutuvien energiamuotojen tukirahastoon. Polttoainevero on 145 €/g isotoopeille Pu-239, Pu-241, U-233 ja U-235, ja sitä maksetaan näillä näkymin vuosina 2011–2016. Aika näyttää onko tämä vero yhtä väliaikainen kuin auton käyttömaksu Suomessa 90-luvun lamatalouden tasapainottajana. Polttoaineverolla on tarkoitus kerätä liittovaltion ta-



120 000 ihmistä osallistui ydinvoiman vastaiseen mielenosoitukseen Bonnissa 14.10.1979, Three Mile Islandin onnettomuuden jälkeen.

Kuva: Hans Weingartz (via Wikimedia Commons)

loudenhoitoon vuosittain noin 2,3 miljardia euroa. Kustannusvaikutus on laitosyksikön koosta ja latausmäärästä riippuen suuruusluokkaa 90-160 miljoonaa euroa vuodessa. Vero on lähes kolminkertainen normaaliin polttoainekustannukseen nähden. Alkaa muistuttaa auton tankkausta.

Vero laukeaa kullekin polttoainepulle ensimmäisen kriittisyyden yhteydessä. Jokaisessa insinööriässä asuu pieni optimoija, ja saksalaiset ovat kekseliäitä löytämään porsaanreikiä. Mikäli nippu ehditään ladata ja tehdä kriittiseksi ennen kuin laki astuu voimaan, verolta välttyy. Minkä nyt häviää ylimääräisenä polttoainekustannuksena, sen verossa voittaa, kun uusia verollisia nippuja tarvitaan tulevissa revisioissa vähemmän. Niinpä esimerkiksi Bibliksessä vaihdettiin lähes 100 ylimääräistä nippua.

Käyttöiän pidennyksen aikana tuotetusta sähköstä maksetaan 9 €/MWh uusiutuvien energioiden rahastoon. Pykälää noudatetaan vuodesta 2017 alkaen, eli väliaikaisen polttoaineveron päätyttyä. Luku ei ole kiveen hakattu, koska se liukuu mm. kustannusindeksiin ja markkinasähkön keskihinnan kehityksen mukana. Erikoista soveltamisessa on, että vuosina 2011-2012 kerätään ennakkomaksuna 300 miljoonaa euroa vuodessa, ja kunakin vuonna jaksolla 2013-2016 vielä 200 miljoonaa euroa.

Ennakkomaksua ei palauteta, vaikkei laitosyksikkö jostain syystä koskaan pidennysvaihetta saavuttaisikaan. Rahastorasitteen voi saada jonkinlaista kevennystä, jos laitosyksikön modernisointikustannukset ylittävät käyttöiän pidennyksen vuoksi 500 miljoonaa euroa. Voimayhtiöt saavat pienen osan rahastoon laittamastaan summasta takaisin, sillä ne ovat aktiivisia mm. uusiutuvien energioiden T&K-työssä ja suurten pääomavaltaiten merituulivoimaloiden rakentajina.

Käyttöiän pidennyksiin liittyvät myös turvallisuustason korottamisen kustannukset. Viranomainen on määrittänyt lyhyen ja pitkän aikavälin parannustoimenpiteet eri laitostyypeille. Aikaa toimeenpanolle on vastaavasti viisi ja 11 vuotta. Toimenpiteiden jako neljään kategoriaan noudattaa laitoksen ikää sekä reaktortyyppiä. Prosessijärjestelmien kannalta vaatimukset ovat varsin kohtuullisia ja mittakaavaltaan vähäisempiä verrattuna Pohjolan projekteihin. Toteutusmielessä ollaan kuitenkin melkoisessa suossa verrattuna Suomen jatkuvan parantamisen periaatteeseen. Merkittävien laitosmuutosten läpivienti vie aikaa ja edellyttää kalliiden toimenpiteiden osalta tiettyä varmuutta tulevaisuudesta. Saksalaisilla laitoksilla on eletty 32 vuoden käyttöiän mukaan, vaikka merkit-

äviä suunnitelmia käyttöiän pidennyksen tuomista modernisoinneista on laadittu. Pullonkaulaksi saattaa monella yksiköllä tulla automaatio, joka palveli 32 vuoden käyttöikä, mutta ei enää taivu vaadittuihin laitosmuutoksiin. Niin kutsutuilla vanhoilla laitoksilla pitäisi parannustoimenpiteet olla valmiina viiden vuoden kuluttua. Tilannetta voi kuvata ydinvoima-alan modernilla adjektiivilla "haasteellinen". Aika näyttää minkälaisilla apuvälineillä tämän suon yli kävellään.

Mikään ei ole niin varmaa kuin epävarma

Käyttöiän pidennykset ovat hieman hatarammalla pohjalla kuin mitä Suomen tyypitetyn uutisoinnin perusteella voisi ymmärtää. Saksan lainsäädäntöprosessi on todella monimutkainen, ja käsittelyportaiden määrä riippuu asiasisällöstä. Tietyt lait tai lakimuutokset edellyttävät sekä parlamentin (Bundestag) että liittoneuvoston (Bundesrat) käsittelyä, kun taas joissakin tapauksissa riittää pelkkä parlamentin siunaus. Pelillä on säännöt, mutta tulkinta on vaikeaa ja usein harmaalla alueella. Asioita on vedetty monesti perustuslakioikeuteen, joka tekee jälkikäteen ratkaisun lainsäädäntöportaiden oikeasta määrästä. Kirjoitushetkellä keskustelu veloo värikkäänä

ja monisanaisena siitä, pitääkö parlamentin ydinvoimapäätös käsitellä parlamentin lisäksi liittoneuvostossa vai ei.

Parlamentti on liittovaltiota edustava elin, joka valitaan suoralla kansanvaalilla. Käytäntö on hyvin yhtenevä Suomen eduskuntavaalien kanssa. Liittoneuvosto sitä vastoin koostuu osavaltioiden hallitusten jäsenistä, ja sen tarkoitus on toimia osavaltioiden äänitorvena. Kristillisdemokraatit hävisivät Nordrhein-Westfalenin osavaltiovaalit ja menettivät samalla hallituspaikkansa kyseisessä osavaltiossa. Osavaltioista nousi siten liittoneuvostoon aivan toisen värisiä puolueita. Samalla ydinvoimamyönteiset hallituspuolueet eli kristillisdemokraatit ja liberaalit menettivät enemmistön liittoneuvostossa.

Kaksiportainen lainsäädäntöjärjestelmä saattaa luoda perustuslaillisissa asioissa täydellisen pattitilanteen, joka valitsee juuri tälläkin hetkellä: hallituspuolueilla on enemmistö parlamentissa, muttei liittoneuvostossa. Poliittiset voimasuhteet muuttuvat siten käsittelyprosessin portaisissa! Saksan osavaltio-liittovaltio-mallia ja monimutkaista lainsäädäntöprosessia ei ole suunniteltu sutjakkaaseen päätöksentekoon, vaan ennemminkin estämään pienten viiksimiesten eteneminen vallan huipulle. Mallin kelpoisuutta nykypäivään ja monipuoluejärjestelmiin lienee helpompi hahmottaa, kun muistelee, mistä valtiosta se kopioitiin toisen maailmansodan jälkipyykissä.

Ydinvoimasta luopuminen käsiteltiin aikanaan ainoastaan parlamentissa. Liittoneuvostokäsittelylle on haettu juridisia perusteita mm. siitä, että käyttöään pidennykset aiheuttavat jatkettuja velvoitteita myös osavaltioille. Hallitus on viitannut kintaalla kaksiportaiselle käsittelylle, koska ydinvoiman kannattajilla ei ole enemmistöä liittoneuvostossa. Laki käyttöään pidennyksistä astuu voimaan 2011 alussa, mutta sosiiaalidemokraatit ovat ilmoittaneet vievänsä asian perustuslakioikeuteen. Puolueen ei tarvitse kärjööntiä lähteä: haastetta valmistellaan niiden osavaltioiden nimissä, joissa vetovastuu on ydinenergiovastaisil-

la puolueilla. Tavoitteena on kumota syntynyt laki osoittamalla yksiportainen käsitteily virheelliseksi. Muotoseikat ratkaisevat.

Koukeroinen tulevaisuus

Koska käyttöään pidennykset aiheuttavat merkittäviä velvoitteita voimayhtiöille, sopimuspakettiin rakennetaan nähtävästi myös jonkinlainen turva. Tämä estänee käytännössä pidennyksen peruuttamisen, vaikka tulevilla hallituksilla olisi siihen poliittista intressiä. Uhkauksiahan on jo esitetty, mutta se lienee informaatio sotaa. Alalla suhtaudutaan varsin luottavaisesti tulevaan oikeusprosessiin. Suomalaissilmoin näyttää kuitenkin surkuhupaiselta, että itsetuntoa on haettava perustuslakioikeuden ennakkopäätöksistä.

Nykyinen hallitus löi lukkoon myös energiastrategian, joten poliittisille ideologioille saatiin lopultakin konkretiaa. Muutoksille on nyt mitattavissa olevat tavoitteet ja samalla vertailutaso. Energiastrategiaan sisältyy sähkönkulutuksen alentaminen neljänneksellä vuoteen 2050 mennessä. Samaa aikaan primäärienergian käyttö on tarkoitus puolittaa. Uusiutuvan energian osuus kattaisi 80 % sähkön kokonaistuotannosta eli 63 % kokonaiskulutuksesta, sillä strategian mukaisesti valtakunta toisi sähköstään 20 % vuonna 2050. Muiden tuotantomuotojen osuus olisi 17 % kulutuksesta. Ydinvoima ei olisi kuvioissa enää mukana, sillä viimeinen laitos sulkeutuisi jo ennen vuotta 2040.

Visioiden toteutumiseksi on lukuisia pullonkauloja. Kallis sähkö on jo nyt lähes poissuljettu lämmitysmuoto, joten rakennusten eristäminen ei juuri vaikuta sähkönkulutukseen. Energiaintensiivisen teollisuuden muuttoaaltoakin on jo osin takana päin. Primäärienergian kulutuksen puolittaminen ja samalla sähkön kulutuksen raju pudotus sotii ainakin sähköautoilua vastaan. Suuret vuorokausivaihtelut uusiutuvien sähköntuotantomuotojen tehossa edellyttävät merkittäviä siirtoverkon vahvistuksia. Tragikoomista, mutta siirtoverkkohankkeet törmäävät ympäristösyistä kovaan paikalliseen vastustukseen

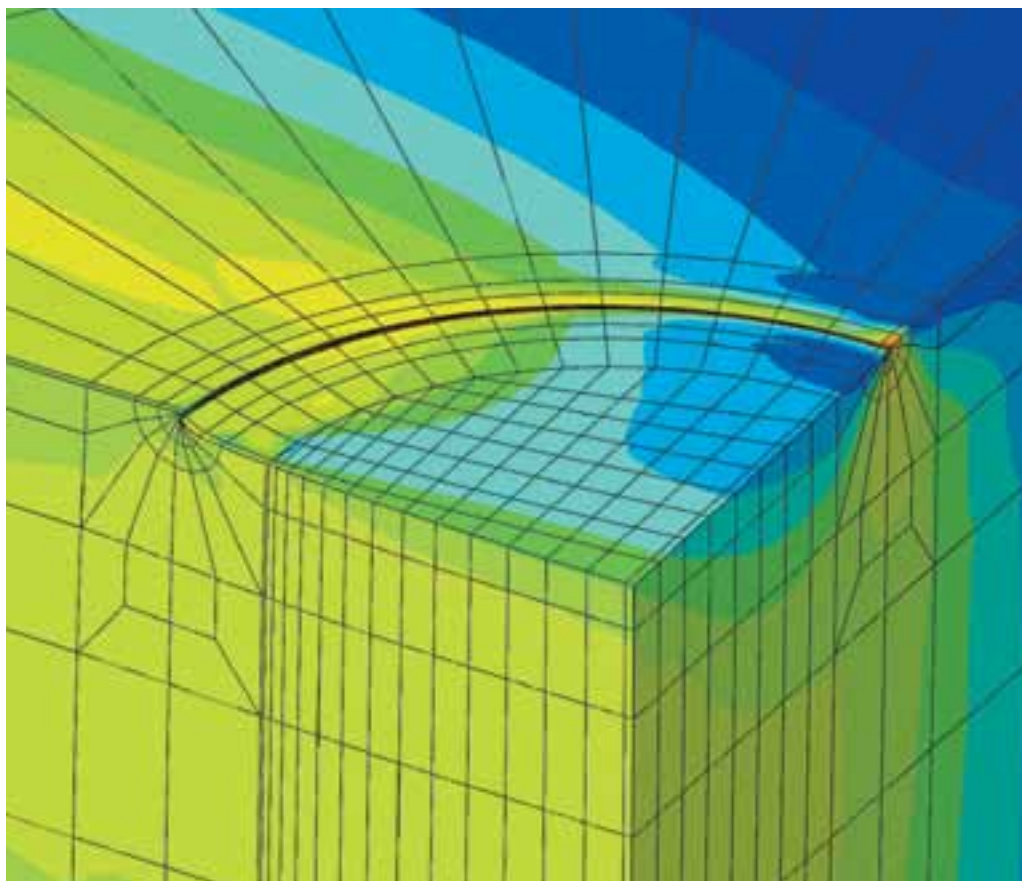
ja päätyvät usein käräjille. Tuonnin merkittävä lisääminen on strategiana perin kummallista ja huoltovarmuuden kannalta myrkyä, sillä öljyn ja maakaasun kautta valtakunnalla on jo merkittävä ja alati kasvava tuontiriippuvuus. Millähän tuontisähkö tuotettaisiin? Eipä ihme, että Saksaa pii-ritetään lähes kaikista ilmansuunnista uusilla laitoshankkeilla.

Ydinvoima-ala kokee uuden mahdollisuutensa koittaneen, kun energiastrategian toteuma ei vastaa tavoitekäyrää. Energiastrategian pettäminen ei yksinään riitä, mutta se auttaa poliittisen tahdon löytymiseen. Kaikki mielipidekyselyt viittaavat vahvasti siihen, että ydinvoimamyönteistä hallitusta ei ole vuoden 2013 liittovaltiovaalien jälkeen. Pidemmällehan asiaa ei voi enustaa. Poliittisen jojo-liikkeen amplitudi ei saisi tällä kertaa olla neljää vuotta pidempi: vanhimpien laitosten kohdalla kaivattaisiin jälleen pelastavaa hallitusta jo vuoden 2017 vaalien jälkeen. Ellei näin tapahdu, vuosikymmenen lopulla nähtäneen osateholla ajelua ja pidempiä teknillis-poliittisia seisokkeja, jotta laitoksilla on jokunen megawattitunti tuotantokatostaan käyttämättä vaaleihin 2021 saakka.

Uskalletaanko uusien laitosten rakentaminen Saksassa ottaa jonain päivänä esille? Ehkä. Se edellyttäisi energiastrategian merkittävää epäonnistumista, sähkön hinnan kovaa nousua ja liiallisen sähköntuonnin osoittautumista virhevalinnaksi. Lähes järvetön maa kärsii jo nykyisellään tulvavaingoista. Mikäli ilmastonmuutoksen tuho-vaikutukset kiihtyvät, saattaisi kivi- ja ruskohiilen runsas käyttö päättyä ydinvoiman sijasta polttopisteeksi. Sopivaan ajankohtaan osuva seuraava maailmanlaajuinen öljy- tai yleinen energiakriisikin olisi oiva katalyytti.

Mika Yli-Kauhaluoma
Projekti-insinööri
AREVA NP GmbH
mika.yli-kauhaluoma@areva.com

Loviisan reaktoripainesäiliöiden turvallisuuden osoittaminen vaatii monipuolisia analyyseja



Lämpötila- ja jännityskentät oletetun särön ympäristössä ratkaistaan elastis-plastisella FEM-analyysillä.

Reaktoripainesäiliö poikkeaa useimmista muista ydinvoimalaitoksen komponenteista siinä, että sitä ei voida korvata redundanttisilla järjestelmillä. Reaktoripainesäiliön on säilyttävä tiiviinä ja ehjänä kaikissa onnettomuustilanteissa. Tämän erityisaseman takia Loviisan ydinvoimalaitoksen reaktoripainesäiliöiden käyttö vaatii Säteilyturvakeskuksen myöntämän määräaikaisen luvan.

Loviisan laitosyksiköiden, kuten muidenkin VVER-440 -tyyppisten laitosten, ongelma on reaktoripainesäiliöiden säteilyhaurastuminen. Säteilyhaurastumisilmiö tunnettiin jo laitosten rakentamisvaiheessa tutkimusreaktoreissa tehtyjen materiaalien säteilytysohjelmien perusteella. Loviisa 1:n ensimmäiset säteilyseurantänäytteet kuitenkin osoittivat, että haurastuminen oli paljon oletettua nopeampaa.

VVER-440:n reaktoripainesäiliö on verrattain pienikokoinen, joten seinämän ja reaktorisydämen välinen vesitila on pieni. Sydäimestä karkaava neutronisäteily ei ehdi vaimenemaan riittävästi ennen kuin se törmää painesäiliön seinämään. Neutronivuon vaimentamiseksi osa reaktorisydämen uloimmista polttoainenuipista korvattiin suojanipuilla, ja reaktorin lataustappaa muutettiin siten, että sydämen ulko-reunalle ladataan palanutta polttoainetta.

Muutokset hidastivat säteilyhaurastumista merkittävästi, ja ilman niitä painesäiliöiden elinikä olisi jäänyt varsin lyhyeksi.

Normaalikäytössä reaktoripainesäiliöiden hauraus ei aiheuta ongelmia. Painesäiliö on ylimitoitettu painekuormaan nähden ja kuumana teräs käyttäytyy sitkeästi. Häätäjäähdytystilanteissa paksusta seinämästä ei kuitenkaan ole hyötyä. Nopea jäähdytys aiheuttaa seinämään voimakkaita lämpöjännityksiä, joten primääripi-



Painesäiliön sisäpuolista NDT-tarkastusta.

rin tehokas jäähdytys voi olla vaaraksi painesäiliön eheydelle. Nopean jäähtymisen aiheuttaman lämpöshokin ja paineen yhteisvaikutusta kutsutaan PTS (Pressurized Thermal Shock) -transientiksi. PTS-transienttien lieventämiseksi on tehty laitosmuutoksia, mm. nostettu hätäjähdytysveden lämpötilaa.

Loviisan reaktoripainesäiliöiden haurastumisen hallintaan on panostettu voimakkaasti 1980-luvun alusta saakka. Haurastumisilmiötä on tutkittu niin IVO:ssa ja myöhemmin Fortumissa kuin VTT:llä ja STUK:ssa. Ilmiön parempi ymmärtäminen ja analyysimenetelmien kehittäminen ovat mahdollistaneet laitosten turvallisuuden osoittamisen haurastumisesta huolimatta. Asiantuntemusta pidetään eri organisaatioissa edelleen yllä, ja haurastumista seurataan jatkuvasti.

Säteilyhaurastumisen hallinta on monitieteellinen ongelma

Reaktoripainesäiliöiden turvallisuuden varmistamiseen tarvitaan monen eri tekniikanalan asiantuntemusta. Painesäiliön

kuormitusten määrittäminen aloitetaan mahdollisten onnettomuus- ja häiriötilanteiden ryhmittelyllä. Mahdollisista tapahtumaketjuista valitaan todennäköisimmät ja haurasmurtuman kannalta vaarallisimmat tarkempaan analysointiin. Laitosmuutokset muuttavat tapahtumaketjujen todennäköisyyksiä ja valintaperusteita. Työssä korostuu laitoksen prosessitekniisen tuntemuksen ja todennäköisyyspohjaisen riskianalyysin merkitys.

Edustavasti valituille transienteille tehdään termohydrauliset analyysit, joiden tuloksena saadaan selville reaktoripainesäiliön seinämän kokemat lämpö- ja painekuormitukset. Laskentatehon kasvu ja menetelmien kehittyminen ovat mahdollistaneet analyysien tarkentamisen. Nykyisin analyysit tehdään pääosin APROS-ohjelmistolla.

Painesäiliön kuormitukset analysoidaan sekä sisä- että ulkopuolisissa jäähtymistapauksissa. Nopean sisäpuolisen jäähtymisen voivat aiheuttaa esimerkiksi hätäjähdytysjärjestelmät, jotka käynnistyvät primääri- tai sekundääripiirin vuodon

seurauksena. Painesäiliön ulkopuoliseen jäähtymiseen voi johtaa onnettomuus- tai häiriötilanne, jossa reaktorikuoppa tulvittuu hätäjähdytysvedestä. Ulkopuolista jäähtymistä on tutkittu mallikokeilla, joiden perusteella on voitu tarkentaa analyysissa käytettäviä parametreja.

Prosessitekniiset ja termohydrauliset reunaehdot määrittelevät PTS-analyysin kuormitukset. Niiden lisäksi täytyy tuntea painesäiliön materiaalien sitkeysominaisuudet, joiden tutkimiseksi käynnistettiin säteilyseurantaohjelmat jo laitosten käyttöönoton yhteydessä.

Neutronisäteily haurastuttaa painesäiliömateriaaleja

Reaktoripainesäiliön seinämään törmäävät nopeat neutronit muuttavat materiaalin rakennetta, mikä heikentää materiaalin sitkeysominaisuuksia. Haurastumisasteen arvioimiseksi täytyy tuntea sekä materiaalin kokema neutroniannos että materiaali-kohtainen haurastumisnopeus. Neutronivuon voimakkuus riippuu reaktorin lataustavasta ja tarkastelukohdasta. Haurasmur-

tuman kannalta epäedullisin kohta on painesäiliön takeiden välinen hitsi, joka osuu lähelle reaktorisydäntä. Painesäiliön kumulatiivinen neutroniannos määritetään tarkoitusta varten kehitetyllä PREVIEW-ohjelmistolla. Laskentamenettely on kelpoistettu kokeellisella dosimetrialla. Painesäiliöiden käyttöihallinnan kannalta oleellista on määrittää säteilyannokset laitosten oletetun käyttöiän lopussa.

Materiaalien haurastumisnopeutta tutkitaan säteilyttämällä koeksuvoja lähellä reaktorisydäntä, jolloin niihin kohdistuva neutronivuo on moninkertainen painesäiliöön nähden. Näin saadaan ennuste painesäiliön materiaaliominaisuuksista tulevaisuudessa. Haurastumisnopeus riippuu voimakkaasti materiaalin kemiallisesta koostumuksesta, joten koeksuvojen on vastattava tarkasti todellisia painesäiliömateriaaleja. Erityisesti hitseissä olevat epäpuhtaudet, mm. fosfori ja kupari, nopeuttavat säteilyhaurastumista merkittävästi. Loviisan laitosyksiköiden reaktoripainesäiliömateriaalit ovat haurastumiskäyttäytymiseltään erilaiset, joten molemmille yksiköille on tehtävä omat analyysinsä. Loviisa 1:n haurasmurtuman suhteen rajoittava hitsisauma lämpökäsiteltiin vuonna 1996, mikä palautti sitkeysominaisuudet lähes alkuperäiselle tasolle.

Loviisan reaktoripainesäiliöiden haurasmurtuma-analyyseissä on siirrytty käyttämään VTT:n kehittämää, murtumissitkeyden suoraan määrittämiseen perustuvaa Master-käyrä-menettelyä. Se antaa todentumaisemman kuvan haurastumisasteesta kuin aiemmin käytetty, venäläinen säteilysiirtymään pohjautuva lähestymistapa. Murtumissitkeyden lisäksi Loviisan painesäiliömateriaaleista on määritetty myös särön pysähtymissitkeys instrumentoiduilla iskusitkeys-kokeilla. Kokeiden tekeminen on haastavaa, sillä koemateriaalit aktivoituvat säteilytyksen aikana ja niitä on käytettävissä hyvin rajallinen määrä.

Materiaalikoekiden tuloksista johdetaan konservatiivinen arvio materiaalien sitkeysominaisuuksista neutroniannoksen funktiona. Murtumis- ja pysähtymissitkey-

tä verrataan laskennallisiin jännitysintensiiteettikertoimiin.

Haurasmurtuma-analyyseillä osoitetaan marginaalien riittävyys

Murtumismekaanisilla analyyseilla määritettävät jännitysintensiiteettikertoimet riippuvat kuormituksista ja rakenteen geometriasta. Painesäiliön seinämässä oletetaan olevan terävä pintasärö epäedullisimmassa kohdassa. Jännitysintensiiteettikertoimet riippuvat voimakkaasti oletetun särön koosta. Loviisan reaktoripainesäiliöistä ei ole löydetty makroskooppisia pintasäröjä. Analyyseissa käytettävä särökoko on osoitettu konservatiiviseksi ainetta rikkomattomilla tarkastusmenetelmillä. Pätevöidyillä tarkastusmenetelmillä huomattavasti pienempikin särö pystytään havaitsemaan erittäin suurella todennäköisyydellä.

Haurasmurtuma-analyyseillä osoitetaan, että painesäiliö ei murru hauraasti missään kuormitustilanteessa. Käytävissä olevan laskentatehon kasvaminen on mahdollistanut raskaiden elastis-plastisten FEM-mallien käytön. Painesäiliön seinämän lämpötila- ja jännitys jakaumat eri jäähdystyrsienttien aikana lasketaan oletetun särön sisältävällä mallilla. Särön ympäristön jännityskenttä voidaan määrittää hyvin tarkasti. Kuormituksista huomioidaan paine- ja lämpöjännitysten lisäksi hitsin ja pinnoitteen jäännösjännitykset. Murtumismekaaniset tarkastelut ovat aina idealisoituja, mutta menetelmäkehityksen ansiosta haurasmurtuman ydintymistä voidaan käsitellä entistä yksityiskohtaisemmin. Fysikaalisen ilmiön tarkemmalla numeerisella kuvaamisella voidaan purkaa hallitusti analyyseihin liittyviä ylimääräisiä konservatiivisuuksia. Erityisesti painesäiliöiden sisäpinnan sitkeä austeniittinen pinnoite on edullinen haurasmurtumariskin kannalta. Pinnoitteen vaikutusta käytettiin lisäperusteena Loviisa 2 paineastian uudessa turvallisuusanalyysissä osoittamaan marginaalien riittävyys.

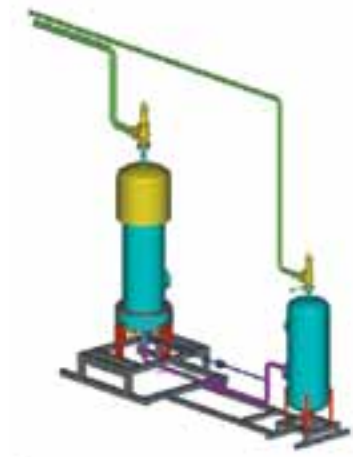
DI Sampsu Launiainen
Fortum Power Division,
Nuclear Competence Center
Suunnitteluinsinööri
Engineering-osasto
sampsu.launiainen@fortum.com



Ydinvoimalaitosten mekaanisiin komponentteihin liittyvät kokeet

Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla

Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla on vuosien mittaan tutkittu monenlaisia ydinvoimalaitosten järjestelmiä ja laitteita. Tutkimuksia on tehty kansallisissa ydinturvallisuuden tutkimusohjelmissa ja niitä ovat teettäneet myös laitostoimittajat, voimayhtiöt ja kotimainen turvallisuusviranomaisen. Usein näiden tutkittavien järjestelmien toiminta riippuu mekaanisista komponenteista, jotka voivat olla toimintaperiaatteeltaan joko aktiivisia tai passiivisia.



SCRAM-koelaitteisto, pikasulkutankki vasemmalla.

Kokeellisesti tutkittuja laitteita ovat olleet muun muassa käyttövoimaltaan uudet reaktorin pikasulkujärjestelmät, säätösauvojen ja nopean boorausjärjestelmän osalta.

Varsinaisiin onnettomuustilanteisiin liittyvät kokeet, joissa on selvitetty kiehuvesireaktorin suojarakennuksen lauhdutusaltaan ilmiöitä ja hätäjähdytyspumppujen toimintaa päähöyryputken katkon yhteydessä. Sumppien toimintaa on tutkittu eristysvillan kerääntyessä suodatinpinnoille vuototapauksessa. Paineakkujen toimintaa ja erityisesti akun sulkujärjestelmän toimintaa paineakun tyhjentyessä on tutkittu kokeellisesti. Vakavimmat tutkitut onnettomuustapaukset liittyvät sydänsulan jäähdyttämiseen joko sydänsiepparissa tai erillisellä sydänsulan levitysalueella. Seuraavassa käsitellään muutamia näistä tutkimushankkeista hieman tarkemmin.

Pikasulkutankki ja nopea boorausjärjestelmä

SWR-1000-laitoksen (nykyisin KERENA) jäähdytys onnettomuustilanteessa perus-

tuu pääasiassa luonnonkiertoon, ja tämän vuoksi laitossuunnittelussa on pyritty välttämään lauhutumattomien kaasujen pääsyä reaktoripiiriin. SWR-1000-laitoksen suunnitelmassa tämä oli ratkaistu käyttämällä reaktorin pikasulussa höyryä säätösauvojen sekä rinnakkaisen nopean boorausjärjestelmän käyttövoimana.

Kummankin järjestelmän toiminta perustuu säiliöön, jonka yläosa on täynnä kylläistä höyryä ja ylin vesikerros on myös kylläisessä lämpötilassa. Säiliön alaosa on halutussa alemmassa lämpötilassa. Toimissaan alaosassa oleva vesi purkautuu alempaan paineeseen höyryn paineen ajamana.

Pikasulkutankin tarkempi toiminta perustuu lämmittimillä yläosaltaan kuumana pidettävään säiliöön (kuva ohessa), jonka alaosa ei lämmitetä. Lämpötilakerrostuneisuuden säilyminen puhallusvaiheen aikana höyrytilaan rajoittuvassa vesitilassa varmistettiin lieriömäisellä sisäosalla. Lieriön yläosan virtauksia on rajoitettu putkiyhteillä, joiden ansiosta lämpötilakerrostuneisuus ei rikkoudu eikä nopeaa lauh-

tumista ja säiliön paineenlaskua pääse tapahtumaan. Oheinen kuva esittää pikasulkutankin lämpötilakäyttäytymistä kokeen aikana.

Nopean boorausjärjestelmän toimintaperiaate muistuttaa pikasulkutankin toimintaa. Boorausjärjestelmässä kuitenkin myös säiliön alaosa lämmitetään, jolloin säiliön kuuma vesikerros on paksumpi. Nopea lauhduminen lämpötilakerrostuneisuuden rikkoutumisen johdosta ei tapahdu yhtä herkästi kuin pikasulkutankissa.

Lauhdutusallaskokeet ja lauhutumattoman kaasun joutuminen hätäjähdytyspumppuun

POOLEX-koelaitteistolla tutkittiin kiehuvesireaktorin lauhdutusaltaan toimintaa päähöyryputken rikkoutuessa suojarakennuksessa. Tutkimuksen alkuvaiheessa keskityttiin vuodon alkuhetkiin, jolloin suojarakennuksen ylemmästä kuivatilasta paineen nousun johdosta virtaa pääasiassa tyypeä alaspuhallusputkien kautta suojarakennuksen lauhdutusaltaaseen. Kokeissa testattiin ilmalla kaasukuplan muodostu-

mista alaspuhallusputken suulle ja seurattiin kaasukuplien kiertoa lauhdutusaltaassa. Myöhemmässä vaiheessa lauhdutuslaskoelaitteistoon lisättiin hätäjähdytysjärjestelmän imusihdin skaalattu malli sekä hätäjähdytyspumppu. Imusihtiin menevän kaasun määrä määritettiin hätäjähdytyspumppun ollessa toiminnassa. Suurimmillaan kaasun tilavuusosuus hätäjähdytyspumppulle menevässä virtauksessa oli noin 5% muutaman sekunnin ajan puhalluksen alkuvaiheessa.

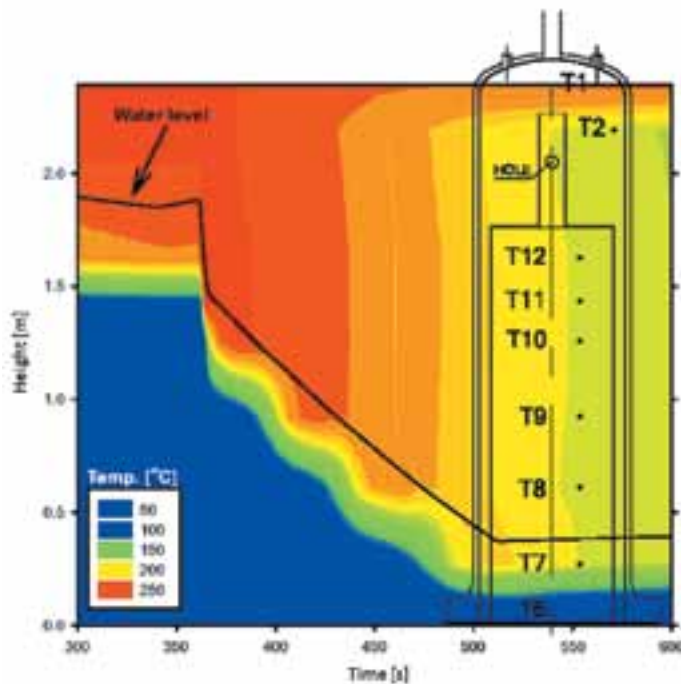
Kokeissa käytetty pumppu vastasi rakenteeltaan ja toiminta-arvoiltaan kiehuvesilaitoksen suojarakennuksen ruiskutuspumppua, Olkiluodossa järjestelmä 322. Pumpun käyttäytymistä tutkittiin laitoksen toiminta-arvoilla injektoimalla kaasua suoraan pumpun imupuolelle. Pumpun nostokorkeus käyttäytyi pumppuvalmistajan käsikirjan tietojen mukaisesti kaasun määrää lisättäessä.

Yleisesti vaadittiin 3-4 % kaasun tilavuusosuus imuvirtauksessa, jotta nostokorkeus ja tuotto heikkenivät oleellisesti, ja 7 % tilavuusosuudella pumppu menetti nostokorkeutensa. Kun kaasun injektointi lopetettiin, pumpun nostokorkeus ja tuotto palautuivat muutamassa sekunnissa. Kuitenkin pienemmillä pumpun virtauksilla vaadittiin jopa 30 s ennen kuin pumpun toiminta palautui ennalleen.

VVER-440:n sumpvikokeet

VVER-440-laitosten hätäjähdytysjärjestelmä on varustettu suodattimilla, jotka estävät lämpöeristeistä sumppiveden joutuneiden eristekuitujen pääsyn hätäjähdytysprosessiin. Koejärjestely käsitti lämmitettävän säiliön boorihapon sekoittamiseen, säiliön eristekuitujen lisäämistä varten sekä sedimentointialtaan, joka mallinsi laitoksen höyrystintilassa sijaitsevia sumppeja. Sedimentointialtaaseen oli asennettu suodatinelementti, jota käytettiin kokeissa joko kokonaisuutena tai vain osittain

Laitteistoon kuului myös hienosuodattimet suodatinelementin läpi päässeiden eristekuitumäärän määrittämiseksi ensimmäi-



SCRAM-tankin lämpötilakäyttäytyminen kokeen aikana.

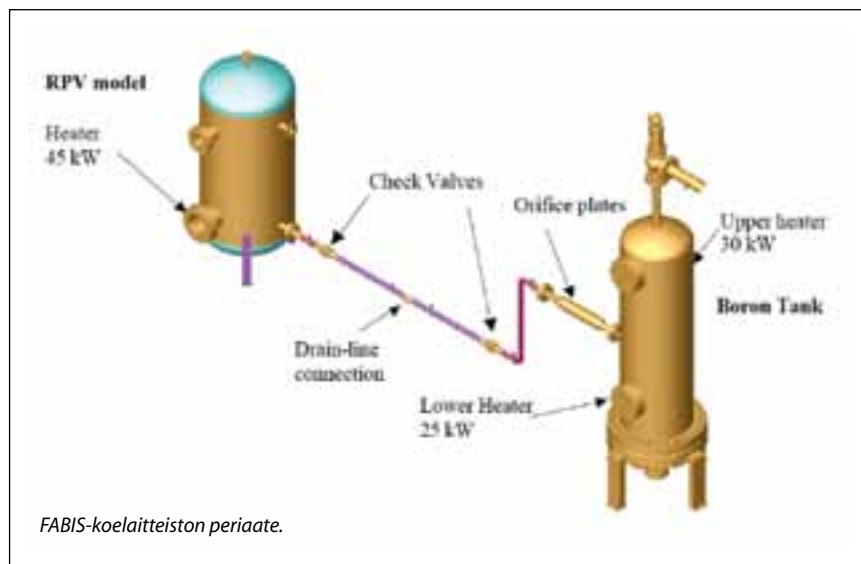


FABIS koelaitteisto.

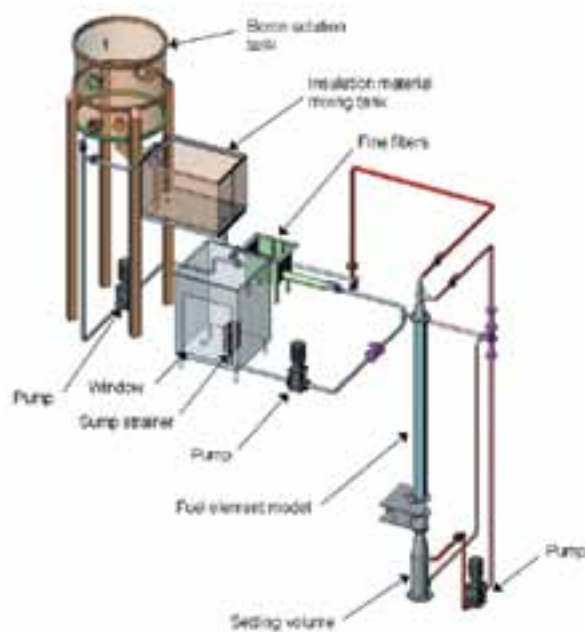
sen vaiheen kokeissa ja toisessa vaiheessa käytetty täysikokoinen polttoaine-elementin malli sekä pumppuja.

Kokeet tehtiin kahdessa vaiheessa, joista ensimmäisessä määritettiin suodatinelementin läpi päässeiden eristevillakuitujen määrä sekä suodatinelementin pinnalla muodostuneen eristevillapatjan aiheuttama paine-ero.

Toisessa vaiheessa määritettiin koelaitteiston polttoaine-elementtiin kulkeutuneiden eristekuitujen määrä alkuperäisellä



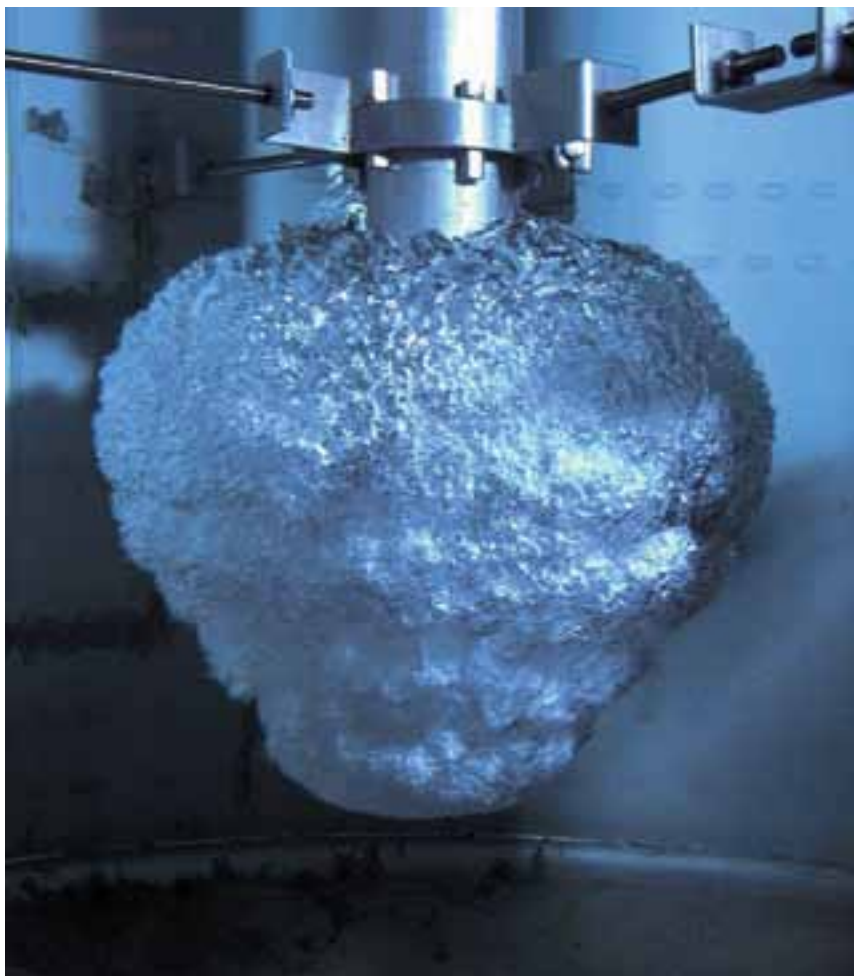
FABIS-koelaitteiston periaate.



Sumpikokeiden toisen vaiheen koejärjestely.



Eristevillakerros suodatinyksikön pinnalla sumpikokeissa.



Puhallusputken suulle muodostunut kaasukupla, halkaisija noin 800 mm..

ja parannetulla suodatinratkaisulla.

Kokeissa käytetty eristevilla lämpökäsiteltiin sideaineiden poistamiseksi ja materiaali murskattiin pakottamalla se korkeapaineisella vesisuihkulla metalliverkon läpi. Kokeissa jäljiteltiin ydinvoimalaitoksen prosesseja tarvittavalla tarkkuudella luotettavien koetulosten varmistamiseksi.

Kunkin kokeen jälkeen hienosuodattimiin kertyneet tai polttoaine-elementin huuhtelussa kerätyt eristekuidut kuivattiin ja punnittiin.

Kokeiden perusteella suodatinelementin läpäisevä kuitumäärä sekä paine-ero suodatinelementin yli pysyivät hyväksyttävällä tasolla.

■

TkT Heikki Purhonen
vanhempi erikoistutkija
Lappeenrannan teknillinen
yliopisto
heikki.purhonen@lut.fi



Impact apparatus and the impact tests



The Impact apparatus.

The impacts of soft missiles to concrete structures have been investigated at VTT by the Impact test apparatus. Thus far, over a hundred experiments have been conducted in order to estimate the possible effect of an aircraft colliding into a nuclear power plant.

The collapse of World Trade Center towers in New York on September 11, 2001, has had an important effect on the design of nuclear power plants. After the date above, a discussion began about the possibility of a passenger aircraft colliding into a NPP or its structures. Before the year 2001, the old NPPs were usually designed to withstand only collisions with a small aircraft or military fighter.

There is much information and research available concerning hard objects hitting concrete walls but little information of the impacts of the soft fuselage of aircraft against structures. Therefore, it was clear that the impact of a soft missile had to be

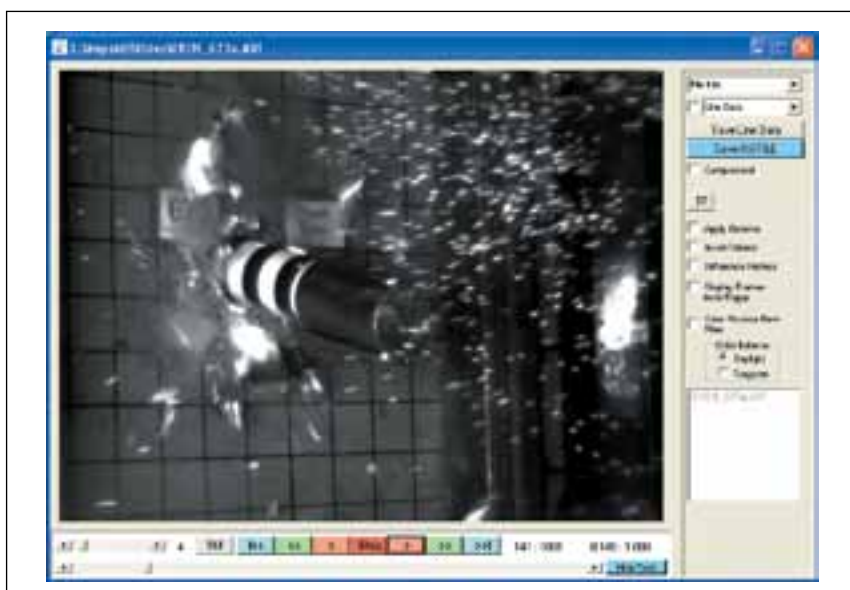
taken into account when the new NPP of Olkiluoto 3 was decided to be built at the beginning of 2002. The Impact apparatus to investigate soft missile impacts into heavy concrete structures has been built and designed at VTT. The main goals include the verification of test results, and making sure that calculation methods are capable of analyzing full-scale concrete structures.

Description of the test set-up

The Impact apparatus consist of a pressure accumulator (length 12.5 m), where the compressed air is stored before shooting, and an acceleration tube (length 13.5m),

where the missile and the piston are accelerated to the required velocity. It is possible to shoot using only the piston (inside the acceleration tube) designed as a missile, or using the piston and a separate missile installed on top of the acceleration tube.

At the beginning of the test series, the missile was designed as a simplified aircraft fuselage, but later on the missile was shot using rails on the top of the acceleration tube. The required speed of the missile (or piston) is achieved by exploding a rupture sheathing located between the pressure tube and the acceleration tube. When a separate missile is used on rails, the pis- →



Still figures of a steel missile collision.

ton is captured away by the piston catcher. The pressure pipe and the acceleration tube have a diameter of 510 mm.

The piston, which is moving inside the acceleration tube, is pushing the missile that moves on a track above the acceleration tube. A fin, a 5 mm thick steel plate that is fixed at the back of the piston, transfers the driving force from the piston to the missile.

The fin and the other parts of the force transmission were designed and subsequently tested to be able to withstand the inertial force, which is very high at the beginning of the acceleration.

The reaction (kick-back) of the explosion or shooting is eliminated by the kick-back frame and rubber buffers installed to the back of apparatus. The target into which the missile is shot can be either a force plate or a concrete wall. The force plate can be installed in front of the thick steel frame, which is supported by steel pipes attached to rock. The concrete wall has been installed into the steel frame.

The first experiment was done on November 4, 2004, to test the apparatus and to find out the suitable weight and diameter for the missile. The Impact research has been conducted within the frame of the SAFIR national research programmes on nuclear power plant safety.

Measurements of impact forces

The main purpose of the measurements has been to find out the force-time function values of different missiles during the impact. The main idea is to use measured functions in FE (Finite Element) calculations, while the concrete wall is used as an impact wall. In preliminary experiments, the force and deflections of the wall were intended to be measured using shock accelerometers, but later on it was recognised that the sensors are not capable of measuring low frequencies and, on the other hand, the measurements include much noise due to natural frequencies of, e.g., force plate and back pipes.

At the beginning of the project, the force plate was installed in front of the impact wall but later on, in front of the horizontal beams fixed to the wall frame. The force plate is made of two or three steel plates and several force sensors are installed behind the plates. The maximum capacity of the force transducers is 2 MN.

The actual hitting velocity of a missile has been measured using high-frequency laser sensors located in front of the wall. The velocity can be calculated by the cut-off point of laser rays. The deflection of the concrete wall has been measured by mechanical deflection transducers installed between the heavy horizontal beam of the wall frame and the surface of the concrete wall.

The strains of concrete and reinforcement have been measured by strain gauges glued either on the surface of concrete or on the rebars. The force-time function can also be measured using the frame or the supporting back pipes. Strain gauges have been fixed on beams and the total supporting force has been calculated by the cross-section values of the pipes.

The impact phenomenon has been captured clearly by high-speed video cameras, which are capable to take 1000 frames per second. The short exposing time needs a plenty of light, and therefore about 30 spots have been placed near the impact wall. The data from sensors have been gathered using a sampling frequency of 100 kHz. The measuring cards include anti-aliasing filtering and simultaneous sam-



Components of the Impact apparatus (the collision frame).

pling capabilities. The maximum number of channels used in the tests has been 32.

Experiments 2004-2010

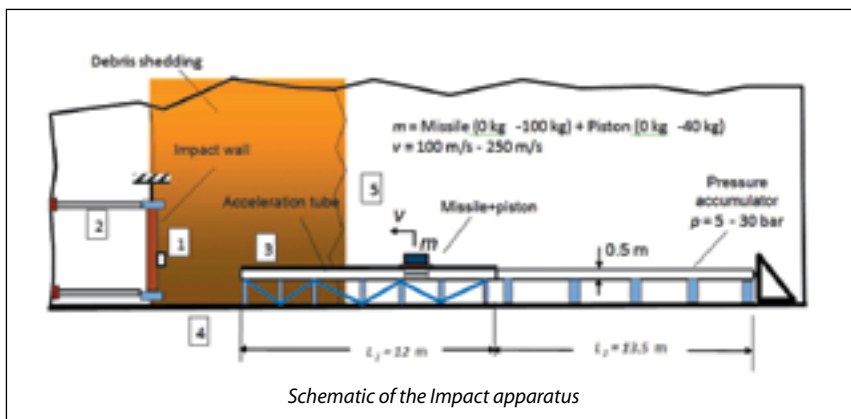
At the end of year 2010, over 100 tests have been performed by the VTT Impact apparatus. The missiles have been made of steel, aluminum or stainless steel and the targets have mostly been force plates or concrete walls with reinforcement. The typical tested missiles have been made of pipe with a diameter of 250 mm, length of 2 m and weight of 50 kg. The velocity has varied from 70 m/s to 180 m/s.

The concrete walls have been designed with the size of 2 m x 2 m and thickness of 150 mm or 250 mm. Some tests have been made using pre-tensioning bars inside the wall. The idea is to investigate the bending

or punching behavior of the wall with different parameters.

During an aircraft collision, also the fuel can spread and burn near the structure. The Impact project has included some tests with a water tank inside the missile. Spreading of the water and the size and speed of droplets has been measured and can be used as data values for fire dynamics analysis.

The main purpose of the Impact tests has been to verify test results against FE calculation results. The analysis and calculations have been made by Abaqus version 6.2 and Fire Dynamics Simulator (FDS) for fuel blast and burning calculations. The analysis work has been conducted within the SAFIR2010/SUSI project. ■



Schematic of the Impact apparatus

Ilkka Hakola
Senior Research Scientist
VTT
ilkka.hakola@vtt.fi



Ari Vepsä
Research Scientist
VTT
ari.vepsa@vtt.fi



Teollisuuden alkulähteillä

Englannin ekskursion aloitukselle ei olisi voinut valita sopivampaa kohdetta kuin Manchesterin Museum of Science and Industry (MOSI). Teollistuminen lähti liikkeelle juuri Manchesterin alueelta, ja MOSI esittelee sen historiaa kirjaimellisesti alkulähteillään.

MOSI sijaitsee vanhalla Liverpool Road -rautatieasemalla. Tämä asema oli maailman ensimmäisen rautatien toinen pää, toinen päähän sijaitsi Liverpoolissa. Asema avattiin vuonna 1830, ja se toimi rautatieasemana vuoteen 1975 asti.

Museo koostuu viidestä rakennuksesta, joista yksi on juuri vanha rautatieasema, joka tosin on rakennettu uudestaan. Toinen yhtä vanha rakennus on varasto, eivätkä kolme muutakaan ole liian uusia, sillä kaikki ovat 1800-luvulta.

Nimensä mukaisesti MOSI esittelee sekä tiedettä että teollisuutta. Manchesterin merkitys vanhana teollisuuskeskuksena lienee kaikille tuttua jo kouluajoilta. Sen sijaan Manchesterin yliopiston suhde ydintekniikan perustana olevaan tieteeseen oli ainakin minulle verraten uusi asia.

Nykyaikaisen kemian isä **John Dalton** työskenteli Manchesterissa, samoin hänen oppilaansa **James Prescott Joule**. **Ernest Rutherford** teki tutkimuksia Manchesterissa. Nykyaikaisen astronomian pioneeri, **Bernard Lovell**, perusti kaupungin lähellä sijaitsevan Jodrell Bankin observatorion. Vielä voidaan lisätä, että maailman ensimmäinen muistilla varustettu tietokone rakennettiin Manchesterin yliopistossa.

Suomessa Manchester tunnetaan parhaiten jalkapallojoukkueistaan United ja City, jonka jälkimmäisen (tappiollista) otelua Arsenalia vastaan meillä oli tilaisuus seurata. Tämän ohella kaupungin imagoa täydentää vanhan teollisuuskaupungin ehkä jo vähän kulahtanut maine. Kuitenkin sen yliopiston tieteelliset saavutukset saavat useimmat muut yliopistot kalpenemaan. Ei siis ihme, että MOSI ylpeänä esittää näitä saavutuksia.

Museon ei myöskään tarvitse kainostella teollisuus historian saavutusten takia. 1800-luvulla Manchester tunnettiin maailman "Cottonopoliksena", joka työllisti kutomoteollisuudessa yli 400.000 ihmistä. Kutomoteollisuus tuki muun teollisuuden kehittymistä. Ja kuten kaikki tiedämme, teollisuus tarvitsee voimaa koneilleen.

Ainakin minusta kaikkein vaikuttavin MOSIn osastoista oli juuri Power Hall. Siellä esitellään voimatuotantoa hevosvoimasta sähköön. Massiiviset alkuperäiset laitteistot ovat sellaisia, joita ei joka paikassa näe. Suuri osa näistä on luonnollisesti höyrykoneita, mutta myös kaasua on hyvin esillä. Manchesterin oma kaasulaitos otettiin käyttöön jo v. 1817.

Erikoisin esittely liittyy hydrauliseen voimansiirtoverkoston, jonka pituus v. 1895

oli yli 19 km ja joka palveli 247 konetta. Toinen erikoisuus on matalatehoiset kuumailmakoneet, jotka käyttivät puun ja hiilen lisäksi myös mitä tahansa jätettä – siis mitä moderneimpia laitteita.

Koska museo on pystytetty rautatieasemalle, siellä luonnollisesti esitellään juna kalustoa. Air & Space Hall sisältää melko laajan maa- ja ilmakulkuneuvovalikoiman. Autojenkin kohdalla Manchester kuuluu edelläkävijöihin. Lukuisat valmistajat Rolls-Royce myöten ovat aloittaneet siellä toimintansa. Myös Euroopan ensimmäinen liukuhihna oli Fordin Manchesterin-tehtaalla. Tämän mukaisesti MOSI:ssa on ikivanhoja autoja kohtuullinen valikoima, vaikka se ei automuseo olekaan.

Air & Space Hallissa on sekä siviili- että sotilaslentokoneita. Ja taas museo muistuttaa Manchesterin asemasta lentokoneeteollisuuden pioneerinä. Koska museon eräänä keskeisenä tavoitteena on tuoda tiede ja tekniikka lähelle lapsia, ilmailuhallissa on lentosimulaattori, jolla pääsee hurjastelemaan tähtien sodan hengessä.

MOSI voi ehdottomasti suositella Manchesterin-kävijöille. Se, kuten ilmeisesti muutkin kaupungin museot, on ilmainen. ■

Uutta ydinvoimaa Englantiin ja Walesiin

Nuclear Instituten (NI) puitteissa toimii Young Generation Network (YGN), joka järjesti ekskursion lopetusseminaarin perjantaina. Esityksiä oli sekä Britanniasta että Suomesta, suurin osa saarivaltakunnasta. Brittien esitelmissä kerrottiin varsinkin ydinvoiman uudisrakenushankkeista. Nämä sijoittuvat Englantiin ja Walesiin, ei koko Britanniaan, sillä Skotlanti on sanonut ei niin uusille ydinvoimaloille kuin ydinjätelaitoksillekin.

Aluksi Nuclear Directoraten (ND) edustaja selosti uusien laitospäätösten lisensiointia. ND:ssä uusien hankkeiden parissa työskentelee 32 tarkastajaa. Luvitukseen kuuluu kolme osaa: laitospäätös, sijaintipaikka ja organisaatio. Laitospäätöksen luvitus alkaa Generic Design Assessment (GDA) -prosessilla.

Tärkein periaate on, että projekti ei ala, ennen kuin GDA on valmis. Luvitettavina ovat EPR ja AP1000. EPR:stä ei ole löydetty toistaiseksi "show-stoppereita". Automaatio ei täytä viranomaisen vaatimuksia, mutta periaateratkaisusta on sovittu. AP1000:stakaan ei ole tähän mennessä löydetty "show-stoppereita". Suojarakennuksen kestävyys ulkoisia uhkia vastaan on kuitenkin varmistettava, ja design on muutettava SI-yksiköihin. GDA-prosessin yleis-tavoitteena on, että Interim Design Acceptance Confirmation (DAC) voitaisiin saada ensi vuoden puolivälissä. Sijaintipaikkaluvan saamisen edellytyksenä on 36 ehdon täyttäminen.

EDF Energy edustaja kertoi yhtiönsä hankkeista. EDF Energy on Britannian suurin sähkön tuottaja ostettuaan British Energy. Yhtiön tavoitteena on rakentaa maahan neljä uutta ydinvoimalaitosta, joista ensimmäinen käynnistyi v. 2018. Paikoiksi

on valittu Hinkley Point ja Sizewell. Laitostyyppi on EPR, ja sen pitäisi olla mahdollisimman lähellä Flamanville 3:a. Pääsuunnittelijana toimii EDF Ranskassa. OL3:n ja FA3:n kokemuksista otetaan oppia. Paikallinen tuki on hyvin voimakasta Hinkleysä, jonne kaksi ensimmäistä yksikköä sijoitetaan.

Horizon Nuclear Powerin edustaja esitelti oman yhtiönsä hankkeita. Yhtiö on E.ONin ja RWE:n 50:50 yhteisyritys, joka on perustettu v. 2009. Yhtiön laitospaikat ovat Oldbury ja Wylfa, joista jälkimmäinen on Walesissa. Wylfan laitospaikat suunnitellaan otettaviksi käyttöön vuonna 2020 ja Oldburyn vuonna 2025.

Laitostyyppiä ei ole vielä valittu: se on joko AP1000 tai EPR.

Valinta tehdään ensi vuoden alussa. Horizonin tarkoituksena on antaa laitostuottajalle enemmän koordinoituvastuuta kuin EDF Energy.

Kolmas voimayhtiö on Iberdrolan ja GDF Suezin yhteishanke, jolla on NDA:n omistama laitospaikka Sellafielidissä. Heidän edustajansa ei seminaarissa ollut.

Jätehuollon tilannetta valotti Golder Associatesin edustaja. Britannian perusongelma ydinjätteen osalta on vanhojen siviili- ja sotilasohjelmien perinnejäte,

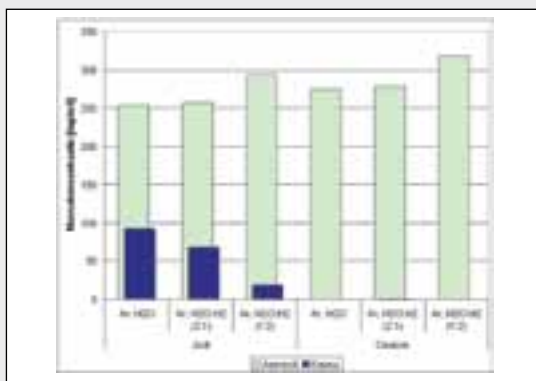
josta 52 % tulee jälleenkäsittelystä, 19 % voimalaitoksista ja 13 % polttoaineen väkevöinnistä ja valmistuksesta. Tämän jätteen kokonaismäärä on 3,4 Mm³ ja 8,1·10⁷ TBq. Aktiivisuudesta 95 % tulee korkeaktiivisesta jätteestä. Suurimmat ongelmat ovat Sellafielidissä. Matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoitusta suunnitellut Nirex epäonnistui.

Sen jälkeen hallituksen komitea CoRWM aloitti selvitykset aivan alusta, ja nyt etsitään jätelaitoksesta kiinnostuneita alueita. Itse asiassa Sellafielidin alue on ilmaissut kiinnostuksensa.

Seminaarissa oli lisäksi muutama juridisiin ja teknologisiin kysymyksiin keskittynyt esitys englantilaisten taholta, YGN:n esittelyä ja suomalaisten puheenvuorot. Kaikki esitykset olivat hyvin valmisteltuja ja esitettyjä, ja niiden perusteella sai hyvän käsityksen asioiden tilasta.



Kemialliset reaktiot primääripiirin pinnalla sekä niiden vaikutukset fissiotuotteiden kulkeutumiseen vakavissa reaktorionnettomuuksissa



Vedyn vaikutus reaktiotuotteiden pitoisuuksiin kokeessa, jossa lähtöaineena käytettiin pelkkää cesiumjodidia.

VAKAVASSA YDINONNETTOMUUDESSA reaktorisydän vaurioituu ja osa fissiotuotteista voi kulkeutua primääripiiriin joko kaasuna tai aerosolihiukkasina. Ydinturvallisuustutkimuksen kannalta yksi tärkeimmistä fissiotuotteista on radioaktiivinen jodi, joka ihmiskehoon joutuaan voi aiheuttaa merkittävän terveyshaitan.

KANSAINVÄLISEN PHEBUS FP -tutkimusohjelman puitteissa tehdyissä kokeissa huomattiin, että vakavan onnettomuuden aikana primääripiiristä vapautui oletettua enemmän kaasumaista jodia. Diplomityön tarkoituksena oli tutkia onnettomuuden aikana primääripiirin pinnalla tapahtuvia kemiallisia reaktioita, ja niiden vaikutusta fissiotuotteiden kulkeutumiseen. Erityisesti oltiin kiinnostuneita voisivatko nämä reaktiot aiheuttaa Phebus FP -kokeissa havaitut korkeat kaasumaisen jodin pitoisuudet. Jodilähteenä kokeissa käytettiin cesiumjodidia. Lisäksi tutkittiin molybdeenin ja boorin sekä pintamateriaalin ja kaasun koostumuksen vaikutusta jodin kulkeutumiseen.

KOKEELLINEN TYÖ käsitti yhteensä kuusi koetta joissa kaikissa käytettiin eri lähtöaine-höyrystysastia-yhdistelmiä. Höyrystysastiamateriaaleina käytettiin keraamia sekä ruostumatonta terästä. Kokeiden aikana kantokaasun koostumusta muutettiin lisäämällä siihen eri määriä vetyä. Kokeiden alussa höyrystysastia lähtöaineineen asetettiin reaktiouniiniin, joka tämän jälkeen lämmitettiin 650 °C:een. Kokeessa syntyneet kaasumaiset reaktiotuotteet kerättiin kuplituspulloihiin ja aerosolihiukka-

set PTFE-filttereille. Aerosolien massa- sekä hiukkaspitoisuuksia mitattiin reaaliaikaisesti TEOM- ja SMPS-mittalaitteilla. Aerosolihiukkasista sekä höyrystysastioiden poikileikkausnäytteitä tutkittiin myös SEM-EDS-analysin avulla. Vesihöyryn pitoisuutta koelaitteistossa mitattiin FTIR-mittalaitteella.

KUN LÄHTÖAINEENA käytettiin pelkkää cesiumjodidia, korkeintaan 20% vapautuneesta jodista kertyi kaasuna kuplituspulloihiin. Loput jodista pysähtyi cesiumjodidina hiukkassuodattimiin. Kun vedyn määrää kantokaasussa lisättiin, kaasumaisen jodin osuus reaktiotuotteissa putosi. Kun lähtöaineisiin lisättiin booria, höyrystysastian pinnalle muodostui kokeen aikana kerros cesiumboorattilasia. Boori pidatti suurimman osan cesiumista sekä pienen osan jodista. Tämän seurauksena lähes kaikki vapautunut jodi oli kaasumaisessa muodossa. Kun lähtöaineisiin lisättiin molybdeenia, reagoi oksidoitunut molybdeeni cesiumjodidin kanssa, minkä seurauksena suurin osa jodista vapautui jälleen kaasuna. Erityisesti ruostumattoman teräksen ollessa käytössä höyrystysastiamateriaalina huomattiin, että kaasumaista jodia vapautui hyvin suuria määriä. Teräsastiaa käytettäessä huomattiin myös, että pieni määrä molybdeenia vapautui aerosolihiukkasina. Nämä hiukkaset olivat mitä ilmeisimminkin joko cesiummolybdaatti- tai molybdeenioksidihukkasina.

KOKEISSA SIIS huomattiin, että onnettomuuden aikana primääripiirin pinnalle päätyneiden fissiotuotteiden reaktiot voivat olla syynä Phebus FP -kokeissa havaittuihin korkeisiin kaasumaisen jodin pitoisuuksiin. Jatkokokeissa tullaan selvittämään millaisia vaikutuksia säätösauvamaateriaaleilla kuten hopealla on kyseisiin reaktioihin. Lisäksi tässä työssä käytetty molybdeenijauhe korvataan tulevaisuudessa kokeissa molybdeenioksidilla.

Opinnäyte hyväksytty Aalto-yliopiston teknillisessä korkeakoulussa.

DI Jarmo Kalilainen
Tutkija
VTT
jarmo.kalilainen@vtt.fi



Aalto University

Aalto University is a new multidisciplinary science and art community in the fields of science, economics, and art and design. The University's cornerstones are its strengths in education and research with 20,000 basic degree and graduate students, and a staff of 4,500 of which 300 are professors.

Aalto University School of Science invites applications for a

Tenure Track Position in Nuclear Engineering

The position is located in the Department of Applied Physics (<http://tfy.tkk.fi/>) of Aalto University School of Science which was appraised as the highest-ranking performer in the recent Research Assessment Exercise covering all of the 46 academic units at Aalto University aalto.fi/en/research/rae/.

The appointment is intended to be at the Assistant or Associate Professor level. However, consideration will also be given at the Full Professor level to candidates with exceptional merits. A more detailed description of the tenure track system at Aalto University is available at aalto.fi/en/tenuretrack.

The position is open for talented individuals who hold a doctorate in physics or in materials science closely related to nuclear technology and have excellent potential for a productive scientific career. The nominated candidate is expected to work in the research field of nuclear reactor physics, radiation physics, advanced reactor technologies or nuclear materials. Moreover, she/he is expected to take the responsibility for the education of nuclear reactor physics and technology. Preference will also be given to candidates who manage to integrate their research to that of the whole department. Please consult aalto.fi/en/openpositions for a complete job advertisement and detailed application instructions.

To apply, please send (i) your CV, (ii) summary of merits and most important achievements (research, teaching, service to scientific community, societal impact; maximum of two pages total), (iii) a complete list of publications and other works (the ten most important ones clearly distinguished in ranked order (1,...,10)), (iv) a single statement concerning the research and teaching vision for the position (maximum of three pages total), as well as (v) the names and contact details of possible references (for Assistant Professor level applications), addressed to the President of Aalto University, to the **Registry of Aalto University, P.O. Box 11000, FI-00076 Aalto**, or preferably by email: kirjaamo@aalto.fi.

The closing date is the 15th of February 2011.

Should there be a lack of eligible outstanding applicants, the application period may be extended. While all the applicants who have submitted an application by the deadline will be appropriately considered, Aalto University reserves the right to consider also other candidates for the professorial positions.

The application materials will not be returned.

More detailed information about the Department of Applied Physics and its research fields, as well as the present application process and its requirements, is provided online at <http://tfy.tkk.fi/>, <http://tfy.tkk.fi/work>, and aalto.fi/en/openpositions.

aalto.fi

TAPAHTUMAKALENTERI

Jäsentilaisuus aiheena Posivan ja SKB:n toiminta

Eurajoki 27.1.2011.

Lisätiedot ja ilmoittautumiset:

Silja Holopainen

silja.holopainen@vtt.fi

ATS:n vuosikokous 8.3.2011.

Lisätiedot ja ilmoittautumiset:

Silja Holopainen

silja.holopainen@vtt.fi

Säteilevät Naiset -seminaari 17.3.2011.

Lisätiedot ja ilmoittautumiset:

Karin Rantamäki

karin.rantamaki@vtt.fi

Atomivoimaa Suomeen

Seminaarin toinen osa huhtikuussa 2011.

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

UUSI ARTIKKELI?

Haluatko kirjoittaa ATS Ydintekniikkaan?

ATS Ydintekniikka julkaisee ydintekniikan aihepiiriin kuuluvia artikkeleita jäsenistöä ja lehden lukijakuntaa kiinnostavaksi arvioituista aiheista.

Jos sinulla on asiaa, josta haluat lehteen jutun, se käy seuraavasti:

- kirjoita artikkeli haluamallasi tekstinkäsittelyohjelmalla
- sopiva jutun pituus on 3 500 merkkiä (1 sivun juttu) - 15 000 merkkiä (4 sivun juttu parilla kuvalla)
- liitä mukaan juttua tukevat ja elävöittävät kuvat mahdollisimman hyvällä resoluutiolla ja mieluummin erillisissä jpg / eps / tif-tiedostoissa
- lähetä juttu sähköpostilla osoitteeseen toimitus@ats-ydintekniikka.fi

Tuo oma näkökulmasi ydintekniikkaan muidenkin tietoon!

Lisää kirjoittajaohjeita: <http://www.ats-ydintekniikka.fi/lehtiarkisto/kirjoittajaohjeet.pdf>

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
Patria Finavitec Oy
Platom Oy
Pohjoismainen Ydinvakuutuspooli
Pohjolan Voima Oy
Posiva Oy
PRG-Tech 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>