

ATS

YDINTEKNIikka

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA —

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



3/2007 vol. 36

Tässä numerossa

PÄÄKIRJOITUS:

Kunniakas historia – entä tulevaisuus? .. 3

EDITORIAL:

Glorious history

–what about the future? 4

Uutisia 5

Daniel Jäfs

ydinasioista kuultuna 6

ATS yhdistänyt ydintekniikan osaajia

viidellä vuosikymmenellä 10

Project Eastinghouse

– teknologian haaste Loviisassa 14

TVO ja Ruotsin

ydintekniikan kytkennät 18

PAPin kyydissä eli lyhyt katsaus

ydinenergialain mukaisiin

periaatepäätöksiin 25

Ydinjätehuollon

ohjelman alkuvaiheet 28

Suomen ydinenergia-

tutkimuksen kansainvälistyminen 31

Uraani – Suomen luonnosta ydin-

polttoaineeksi vai tutkijalle 36

VTT ja suomalaisen ydinenergia-

tutkimuksen alkuvuosikymmenet 39

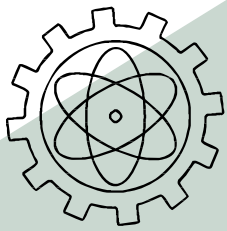
Väitökset ja diplomityöt 44

KOLUMNI:

Rahvas oppii historiasta..... 50

Tapahtumakalenteri

ja seuran uudet jäsenet 51



ATS

3/2007, vol. 36

VUODEN 2007 TEEMAT

1/2007

Energiamarkkinat
ja talous

2/2007

Ei-energiatuotannon
ydintekniikka

3/2007

Suomen ydintekniikan
historia

4/2007

Syysseminaari, ekskursion

ILMOITUSHINNAT

1/1 sivua 700 €

1/2 sivua 500 €

1/4 sivua 300 €

ISSN-0356-0473

Painotalo Miktor Ky



441 194
Painotus

JULKAISIJA / PUBLISHER

Suomen Atomiteknillinen Seura –
Atomtekniska Sällskapet i Finland ry.

ATS WWW

www.ats-fns.fi

Toimitus / Editorial Staff

Päätoimittaja / Chief Editor

DI Kai Salminen
Fennovoima
paatoimittaja@ats-fns.fi

Toimitussihteeri / Subeditor

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

Erikoistoimittajat /

Members of the Editorial Staff

TkL Jarmo Ala-Heikkilä
Teknillinen korkeakoulu
jarmo.ala-heikkila@tkk.fi

DI Riku Mattila

Säteilyturvakeskus
riku.mattila@stuk.fi

FM Johanna Hansen
Posiva

johanna.hansen@posiva.fi

DI Eveliina Takasuo

VTT
eveliina.takasuo@vtt.fi

TKT Jari Tuunanen

Teollisuuden Voima
jari.tuunanen@tvo.fi

Haastattelutoimittaja /

Journalist reporter

DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@welho.com

Johtokunta / Board

Puheenjohtaja / Chairperson

DI Harriet Kallio
Fortum Power and Heat
PL 100, 00048 Fortum
p. 010 453 2463
puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja /

Vice-chairperson

DI Harry Lamroth
Fortum Nuclear Services
harry.lamroth@fortum.com

Sihteeri /

Secretary of the Board

DI Juha Poikolainen
Teollisuuden Voima
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

FM, tekn. yo Anna-Maria Länsimies
Energiateollisuus ry
anna-maria.lansimies@energia.fi

Jäsenet /

Other Members of the Board

FM Johanna Hansen
Posiva
johanna.hansen@posiva.fi

DI Yrjö Hytönen

Säteilyturvakeskus
yrjo.hytonen@stuk.fi

DI Olli Nevander

Teollisuuden Voima
olli.nevander@tvo.fi

Toimihenkilöt / Officials

Jäsenrekisteri /

Membership Register

Liisa Hinkula
Fujitsu-Siemens
p. 020 722 5097
liisa.hinkula@fi.fujitsu.com

Kv. asioiden sihteeri /

Secretary of International Affairs

DI Satu Siltanen
Fortum Nuclear Services
satu.siltanen@fortum.com

Energiakanava /

Energy Channel

TKT Karin Rantamäki
VTT
karin.rantamaki@vtt.fi

Young Generation

TKT Jaakko Leppänen
VTT
jaakko.leppanen@vtt.fi

Ekskursios sihteeri /

Excursion Secretary

DI Kristiina Turtiainen
Teollisuuden Voima
kristiina.turtiainen@tvo.fi

Suomen Atomiteknillisen Seuran (perustettu 1966) tarkoituksena on edistää ydintekniikan alan tunte-
mista 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. Jä-
seneksi pääsee johtokunnan hyväksymällä hakemuksella. ATS:n jäsenhakemus löytyy internetistä pdf-
muodossa: <http://www.ats-fns.fi/info/jasenhakemus.pdf>.

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



Kunniakas historia – entä tulevaisuus?

Suomen ydinvoimateollisuus voi tänä päivänä olla ylpeä viime vuosikymmenten aikana annetuista näytöistä ja laajasta kansainvälisestä arvostuksesta. Olemme omalla työllämme ja osaamisellamme ansainneet vankan aseman ydinvoimatuottajien joukossa, vaikka resurssimme likimain kaikilla osa-alueilla ovat moniin muihin maihin verrattuna olleet niukemmat. Ydinvoimateollisuudesta voitaisiin Suomessa käyttää nimitystä klusteri tai ainakin miniklusteri, johon kuuluvat alan korkeakoulut, yliopistot, tutkimuslaitokset, insinööritoimistot, viranomaisorganisaatiot, keskeiset päättäjät, alihankkijayritykset ja luonnollisesti ydinvoimayhtiöt.

SUOMEN NYKYISET ydinvoimalaitosyksiköt ovat useilla kriteereillä arvioituna maailman runsaan neljänsadan siviilikäytössä oleva laitosyksikön joukossa kärkipäässä. Kulmakivenä on ollut ja tulee olemaan korkea turvallisuuskulttuuri, joka on kaiken menestyksen avain. Loviisan ja Olkiluodon voimalaitosyksikköjen keskimääräiset käyttökertoimet ovat viime vuosina olleet kansainvälisessä maavertailussa ykköstilalla. Hyvistä tuloksista huolimatta itsetyytyväisyyteen emme saa missään tapauksessa tuudittautua, vaan meidän tulee edelleen panostaa turvallisuuskulttuurin sekä hyvien käytäntöjen edistämiseen jatkuvan parantamisen periaattein.

KOKO YHTEISKUNNAN suhtautuminen ydinvoimaan on muuttunut kuluneiden vuosien aikana myönteisemmäksi. Koen tämän kehityksen todella tärkeänä ydinvoiman tulevaisuutta ajatellen. Ydinvoimasta käydyn keskustelun avoimuus ja monipuolisuus on viime vuosina ollut aivan eri tasolla kuin pari vuosikymmentä sitten, jolloin koko alaa varjostivat muutamat ydinvoimaonnettomuudet.

MIKÄ ON sitten ydinvoiman tulevaisuus maailmassa? Onko Olkiluoto 3 -projekti ydinvoimarenessans-

sin alku länsimaissa? Onko ydinvoima tulevaisuudessa poliittisesti hyväksyttävä ja liiketaloudellisesti kannattava voimantuotantomuoto muissakin maissa ja eri sähkömarkkinoilla? Tässä kysymyksiä, joihin ei löytyne yksiselitteistä vastausta. Kaikki merkit, sekä heikot että myös jotkut vahvat, viittaavat siihen, että ydinvoima on jatkossakin merkittävä sähköntuotantomuoto useissa maissa. Turvallisuusominaisuksiltaan aiempaa edistysellisempiin laitosratkaisuihin luotetaan entistä enemmän ja samalla tunnustetaan ydinvoiman erinomaisuus kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistalkoissa. Kun laitosyksikköjen koon kasvattaminen pienentää ominaisinvestointikustannuksia ja kun huippuyhtiöissä on lisäksi realistiset mahdollisuudet saavuttaa laitosyksiköillä jopa yli 95 prosentin käyttökerrointaso, on uudella ydinvoimalla hyvät menestymisen mahdollisuudet useimmilla markkina-alueilla.

ENTÄPÄ SITTEn meillä? Uskallan väittää, että Olkiluoto 3 -projektin toteutuksessa ilmenneistä lisähaasteista huolimatta, Suomen ydinvoimateollisuudella on valoisa tulevaisuus. Ydinvoimahankkeissa mukana olevat toimijat tulevat kerryttämään osaamis-pääomaa, joka on hyödynnettävissä uusissa kohteissa. Ydinvoima-alalle on hakeutunut ja on edelleen hakeutumassa lahjakkaita nuoria ihmisiä. Yliopistojen ja korkeakoulujen merkitys ja vastuu on tärkeä tässä myönteisessä kehitysprosessissa. Myös avoimuuden vaaliminen on alalla välttämätöntä, mikä on omiaan lisäämään sidosryhmien luottamusta ydinvoimateollisuutta kohtaan. Luottamuksen ansaitseminen on pitkä prosessi, mutta sen menettäminen voi tapahtua hetkessä. Siihen meillä ei kerta kaikkiaan ole varaa, vaan jokaisen yksilön ja yhteisön tulee tehdä kaikkensa korkean turvallisuustason säilyttämiseksi ja parantamiseksi.

Glorious history – what about the future?

Today the Finnish nuclear industry can be proud of the credits and wide international respect gained during the last decades. With our own work and skills we have earned a strong position among the nuclear power generators, even though our resources have been more limited than in the other countries in almost all areas. The Finnish nuclear industry could be called a cluster, or at least a mini-cluster, which includes the universities, research centres, engineering companies, governmental authorities, central decision makers, subcontractors and, of course, the nuclear power generators.

THE FINNISH nuclear power plant units are in many areas among the best within the 400 nuclear power plant units (NPPs) in the world. The cornerstone of the success has been the high safety culture, which is the key to all success. The country average capacity factor of the Finnish NPPs has been the best in the world. Even though the results have been excellent, we should not be too self-satisfied. We shall further invest on the promotion of good safety culture and good practices as a part of a process of continuous improvement.

THE ATTITUDE of the whole society to nuclear power has become more positive during the recent years. I feel this development very important for the future of the nuclear power. Today, openness and diversity of the public debate is at a completely different level than two decades ago, when some accidents shadowed the whole nuclear business.

WHAT ABOUT the future of the nuclear power in the world? Is the Olkiluoto 3 -project a beginning

of the nuclear renaissance in the western world? Is nuclear power a politically accepted and cost-effective way to produce power in the future also in other countries and electricity markets? These are questions to which you can't find an unambiguous answer. All signals, both weak and some strong, indicate, that nuclear power will be an important part of the electricity production system in many countries. There is an increasing confidence in reactors with more advanced safety concepts and the role of nuclear power as an excellent solution to reduce greenhouse gas emissions is admitted. The larger unit-size of the modern NPPs leads to lower specific investment costs. This, together with the possibility to produce power with higher than 95% capacity factor means that a new NPP has best practices to succeed in most market-areas.

WHAT ABOUT us? I dare to say, that even though the Olkiluoto 3 project has been more challenging than expected, the Finnish nuclear industry has a bright future. The organisations involved in the current NPP projects gather know-how, which can be used in new projects in the future. Talented young people have and are interested in working in the nuclear field. The universities have an important role in this positive development process. In the nuclear business it's necessary to maintain openness, which as such increases the trust of stakeholders in the nuclear industry. To earn trust is a long process, and the trust can be lost very quickly. We definitely can't afford that. Every individual and the entire organisation shall do their best to maintain and improve the existing high level of safety. ■

UUTISIA

Fennovoima uutena toimijana ydinenergia-alalle

UUDEN ENERGIA-ALAN yhtiön Fennovoima Oy:n perustaminen ja uusi ydinvoimalaitoshanke 1000-1800 MW:n voimalaitoksen rakentamiseksi julkistettiin kesäkuussa. Yhtiön tavoite on rakentaa Suomeen uutta ydinvoimaa, jolla turvataan sähkön saantia, vähennetään riippuvuutta sähkön tuonnista, torjutaan ilmastonmuutosta ja lisätään kilpailua sähkömarkkinoilla. Fennovoiman perustajayhtiöihin kuuluvat Outokumpu Boliden Rauman Energia, Katternö ja E.ON. Toimitusjohtaja **Tapio Saarenpään** mukaan syksyn aikana on tarkoitus toteuttaa osakaspohjan laajennus, jonka tuloksena kymmenet suomalaiset yritykset tulevat mukaan Fennovoimaan.

UUDEN VOIMALAITOKSEN sijoituspaikkavaihtoehtoja selvitetään tällä hetkellä yhteistyössä Kemijärven, Kristiinankaupungin, Pyhäjoen, Ruotsinpyhtään, Simon ja Vaalan kuntien kanssa. Vaihtoehdot, jotka etenevät ympäristövaikutusten arviointiin, julkistetaan syksyn aikana ja YVA-työ aloitetaan välittömästi. "Kun YVA-menettely on valmis, jätämme valtioneuvostolle hakemuksen periaatepäätökseksi. Tavoitteena on, että eduskunta käsittelee periaatepäätöksen vielä tämän vaalikauden aikana, käytännössä vuonna 2010", kertoo Saarenpää aikataulusta. Uuden laitoksen on tarkoitus tuottaa sähköä 2010-luvun puolivälin jälkeen.

FENNOVOIMA ON ilmaissut julkisuudessa kiinnostuksena liittyä Posivaan. Saarenpää kommentoi uuden laitoksen ydinjätehuoltoa: "Ydinenergialaki edellyttää, että Suomessa tuotettu

ydinjäte tulee loppusijoittaa Suomeen. Maassamme on tehty ainutlaatuisen pitkäjänteistä työtä voimalaitosjätteen ja käytetyn polttoaineen loppusijoittamiseksi, minkä tuloksena näille ratkaisuille on saatu poliittinen hyväksyntä. Fennovoimassa näemme tarkoituksenmukaiseksi, että Suomessa luotuja kansallisia ratkaisuja sovelletaan myös Fennovoiman aikanaan tuottaman jätteen loppusijoittamisessa. Kansallisesta ratkaisusta oli kyse jo silloin, kun TVO ja Fortum ryhtyivät yhteistyöhön Posivaa perustettaessa."

UUDELLA YHTIÖLLÄ uskottavuuden saavuttaminen sekä alan toimijoiden että poliittisten päättäjien, viranomaisten ja muun yhteiskunnan keskuudessa on tärkeää. Saarenpään mukaan luottamus saavutetaan johdonmukaisella työllä omien - ja Suomelle tärkeiden - tavoitteiden puolesta, avoimuudella ja vuorovaikutuksella muun yhteiskunnan osana sekä tinkimättömällä osaamisella ja korkealla turvallisuuskulttuurilla. Fennovoima uskoo E.ON:in ydinvoimakokemus taustallaan tuovansa vireyttä koko toimialalle. Rekrytointiin yhtiö käyttää avointa lehti-ilmoittelua. "Olemme menestyneet rekrytoinneissamme erinomaisesti", kertoo Saarenpää.

Tapio Saarenpää siirtyi Fennovoiman toimitusjohtajaksi Rauman Energia Oy:n toimitusjohtajan tehtävästä. Sitä ennen hän on tehnyt lähes 20 vuoden uran TVO:ssa mm. OL3 -projektin varajohtajana.

FENNOVOIMA

VTT järjesti tutkimusväen tapaamisen

VTT:N PERINTEINEN ydinenergiatutkimusväen tapaaminen Helsingin Lauttasaareissa 27.8.2007 keräsi yli 50 osallistujaa alan organisaatioista ja teollisuudesta.

Tilaisuudessa käytiin läpi kansallisten ja keskeisten kansainvälisten tutkimusohjelmien – SAFIR2010, KYT2010, FUSION ja GEN4FIN – tilanteet sekä esiteltiin teollisuuden ajankohtaisia asioita tutkimusrintamalla.

USEISSA TILAISUUDESSA esityksissä korostettiin laadukkaan tutkimus- ja kehitystoiminnan tärkeää roolia asiantuntemuksen ja osaamisen kehittämisessä. "Kotimaisen tutkimusväen tapaaminen on VTT:lle hyvä ja tärkeä tapa keskustella keskeisten asiakkaiden ja yhteistyökumppaneiden kanssa tulevaisuuden yhteistyöstä", kertoo VTT:n energiaturkimuksen asiakkuusjohtaja **Rauno Rintamaa**.



Neuvottelu Rosenlev Oy:ssä Porissa keväällä 1979 neuvotteluosapuolina Finntom (FA), VTT, KTM ja IVO. Kuvassa vasemmalta Juhani Kuusi (FA), Ilkka Mäkipentti (KTM), Veikko Palva (VTT), Pekka Jauho (VTT), Daniel Jåfs (FA), Kalevi Numminen (IVO) ja nimeltä tunnistamaton toinen IVO:n edustaja.

Daniel Jåfs:

Teollisuus kantoi vastuun henkilöstönsä ydinenergia-alan koulutuksesta

Kallaveden Vaajasalo -saaren Alahovin marjaviinitilan navettaravintolan piano jäi minne se edellisesänäkin jäi "Vaajasalon hoviioikeuden kanttorin" kesäharrastukseni jäljiltä aloitettuani vielä hieman kesäteräisenä taas tämän lehden erikoistoimittajan -amatööriharrastukseni. Tullessani Finntomin toimitusjohtajana 26 vuotta toimineen DI Daniel Jåfsin luo Kauniaisten Kavalintielle koin tullessi muusikon kotiin. Miksi? Tuo puheen, vuorovaikutuksen ja toiminnan rytmitys ja sen oikea ajoitus, siitä tuntee soittajan kuin myös esiintyjän ja kielimiehen.

Myöhemmin kävikin ilmi että Daniel Jåfs on Vöris Spelmansorkesterin viulisti. Jäätyään leskimieheksi v. 1999 hän palasi, paitsi takaisin kotiseudulle Vöyriin, myös itselleen mieluisan pelimannimusiikin juurille, mutta muutti joitain vuosia sitten takaisin pääkaupunkiseudulle Kauniaisiin.

Pannaanpa nauhuri pyörimään.

"Jaaha, nyt se muka toimii, vai?"

Hyvä tuo "muka" –sana!

"Se on pojantyttäreni harrastamia hauskoja ilmaisuja. Hän on kaksikielinen, opiskelee pedagogiikkaa Helsingin yliopistossa.

"Hän oli muka sairas" on ruotsiksi "Han påstod det, men det tror jag inte alls, att han var sjuk." Suomen kieli on tehokasta, muissa kielissä ei ole "muka" –sanaa.

Vöyriältä Åbo Akademiin

*"Ehdotettuasi haastattelua mietin miten tähän olen tullut. Olen Vöyriältä, 35 km Vaasasta koilliseen. Lapsuuteni kansakoulu tapasi olla 6-vuotinen. Sopivasti serkkuni **Waldemar Simons**, Åbo Akademin (ÅA) kemisti, käydessään meillä kehotti isääni "panemaan poikansa jatkamaan opintojaan". Kävin sitten keskikoulun Vöyrillä ja lukion Vasa svenska lyceumissa. V. 1950 lähdin ÅA:han opiskelemaan kemiaa."*

"Serkkuni kehotus isälleni oli tulevaisuuteni kannalta ratkaisevaa. Isäni oli maanviljelijä ja vesiturbiinimylly -yrittäjä 3-4 kk vuodessa. Niistä yhdessä perhe sai tyydyttävän elannon. Luin aika paljon nuorena, dekkareitakin mutta kaikenlaista maailman ja aurinkokunnan syntymisestä ja muusta sellaisesta. Joskus 15-vuotiaana otin ruotsalaiselta kirjeopisto Hermoldsilta kurssin, rupesin lukemaan venäjää. Siitä oli sitten työssäkin apua, kävimmehän Moskovassa monta kertaa."

Olenkin kuullut sinun olevan monikielitaitoinen mies. Mitä kieliä harrastat?

"Useitakin. En niitä kaikkia puhu mutta ymmärrän. Venäjistä oli sitäkin hyötyä että Moskovon matkoilla vastapuolen puhues- sa ja tulkin kääntäessä ymmärsin jo hiukan mistä oli kysymys ja ehdin miettiä vastustani ennen tulkin lopettamista. Opiskeluaikani luin työväenopistossa ranskaa. Yhden vuoden olin stipendiaattina Yhdysvalloissa, joten englanti tuli siinä. Saksa oli silloin iso kieli, kävin yhden kesän harjoittelemassa Etelä-Saksassa. TV on kielten harrastamiseen erinomainen, seuraan mielelläni saksankielisiä dekkareita kuten "Ket- tua", nimenomaan kielen takia. Tietenkin

kieliä olisi voinut harrastaa ja olisi pitänytkin harrastaa vielä enemmän."

Ahlströmille ja USA:han stipendiaatiksi

*"Tein diplomityöni analyttisen kemian professori **Anders Ringbomille** ja valmistuin helmikuussa 1955. Lepäilin sitten kotona kun professori **Jarl Salin** soitti ja sanoi, että "nyt olisi Ahlströmillä yksi paikka vapaana". Varkauden konepajan päällikkö, yli-insinööri **Hans Branders**, oli kysynyt Salinilta josko tällä olisi ehdottaa sopivaa kaveria työhön. Niin lähdin ensimmäiseen insinööriyöpaikkaani Varkauteen. Asuimme siellä kaikkiaan seitsemän vuotta, välillä vuoden 1957 Yhdysvalloissa."*

Ahlström on konepajateollisuutta, energiaa ja mitäpä kaikkea muuta. Mitä siis?

"Ahlström oli sen ajan Varkaudessa iso asia, oli sellu- ja paperitehdas, saha ja 1000 hengen konepaja, kaikkiaan 4000 henkeä,

kauppalan väkiluku vähän yli 20 000. Varkaus eli käytännössä Ahlströmistä. Olin aluksi kattilaosastolla myynti- ja suunnitteluinsinöörinä, hoidin lämmönvaihtimia ja kaasunpuhdistimia, tein muutaman keksinnönkin ja sain patentin savukaasun puhdistuksesta kahdella ventuurilla sarjassa."

*"Sitten 18 sellu- ja paperitehdasta perusti v. 1956 Voimayhdistys Ytimen (VYY), Ekonon eräänlaisen sisaryhtiön. Ekonon vetäjät **Harald Frilund** ja **Sven-Olof Hultin** olivat seuranneet mitä maailmalla tapahtui. Tarkoituksena oli kouluttaa väkeä ydinvoiman Suomeen tuloa varten. Sain VYY:ltä stipendin ja opiskelupaikan Yhdysvalloissa, aluksi Penn State Universityssä ja sitten Argonnessa. **Fermihän** käynnisti v. 1942 ensimmäisen reaktorin juuri Argonnen laboratorioissa."*

Mitä opiskelit Yhdysvalloissa?

"Kansainvälisessä Int. School of Nuclear Science and Engineering -koulussa meitä



Espoon Otaniemeen valmistetun alikriittisen miilun polttoaine-elementin hitsausta A. Ahlström Osakeyhtiössä Varkaudessa vuonna 1958.



Ns. 12 hengen "Atomidelegaatio" Moskovassa syyskuussa 1966. Eturivissä vasemmalta Olavi Vapaavuori, Pentti Alajoki, Erkki Laurila, tulkki, Ilkka Mäkipentti, keskirivissä vasemmalta Konstantin Lembidakis, Bjarne Regnell, Antero Jahkola, Uolevi Konttinen, Pentti Malaska, takarivissä vasemmalta Kalevi Numminen, Kaarlo Koivisto, venäläinen isäntä, Daniel Jåfs ja viisi oikeanpuoleisinta henkilöä venäläisiä isäntiä. "Atomidelegaation" jäsenet perustivat "periaatteessa" Suomen Atomiteknillisen Seuran paluujunamatkalla n. 800 km Moskovasta itään olevasta Melekessistä Moskovaan.

oli noin 40 miestä eri puolilta maailmaa. Opiskelimme matematiikkaa, fysiikkaa ja varsinkin reaktoriteknikkaa. Presidentti **Eisenhower** lupasi YK:ssa v. 1953 Yhdysvaltojen jakavan ydinenergia-alan tietoutta. Ahlströmin konepajalla perustettiin v. 1958 lämpö- ja ydintekniikan osasto, jota rupe- sin johtamaan. Jo samana vuonna VYY tilasi meiltä alikriittisen miilun Otaniemeen ja v. 1962 valmistimme Varkaudessa Tri- gan reaktoriastian, 6,5 metriä korkean alu- miinisäiliön."

Teollisuus ydintielle

Ketkä perustivat VYY:n, oliko tarkoitus laitosten operointi vai komponenttivalmistus?

"Melkein koko teollisuus, kaikki isot sel- luloosa- ja paperitehtaat. Eräillä kuten Ahl- strömillä ja Tampellalla oli myös konepa- jateollisuutta. VYY oli lähes kuin Frilundin kauan johtama Ekono. Haluttiin koulut- taä väkeä operoimaan laitoksia. Mm. **Bjar- ne Regnell** ja **Olavi Vapaavuori** kävivät saman koulun kuin minä ja **Norman Wes- terberg** oli Oak Ridgessä. Mutta kompo-

nenttienkin valmistus haluttiin aloittaa, ta- voitteet tukivat toisiaan. Kotimainen teolli- suus oli rakentanut jo melko paljon tavan- omaisia voimalaitoksia ja tarkoitus oli ra- kentaa uudenkin tekniikan laitoksia."

"Sitten tammikuussa 1966 perustettiin Suomen Atomiteollisuusryhmä (lyh. SAR), tarkoituksenaan valmistaa komponentte- ja. Sen perusti 8 yhtiötä, näitä samoja isoja metalliteollisuus- ja konepajayhtiöitä: Ahl- ström, Nokia, Rauma-Repola, Rosenlew, Wärtsilä, Valmet, Tampella ja Strömberg. Ni- menomaisena tarkoituksena oli ydinvoi- malaitoskomponenttien valmistus. Ker- roimme pystyvämme valmistamaan koko- naisia ydinvoimalaitoksia, yhteistyössä jon- kun kanssa."

"Täsmensimme olevamme valmiita pää- hankkijoiksi. Se oli aika paljon sanottu sil- loin, niin olimme optimisteja."

"Olin Ahlströmin edustaja komponent- tivalmistuksessa alusta pitäen. Joulukuus- sa 1963 ehdotin Valmetin, sittemmin Tam- pellan varatj. **Nils Björklundia** kokoamaan ryhmän valmistamaan ydinvoimalaitosten

komponentteja. Asea-Atomin kaupallinen johtaja **Curt Mileikowsky** esitti Björklun- dille samaa 1,5 vuotta myöhemmin. "Aja- tus ei ole uusi", Björklund sanoi, "olen itse- kin asiaa miettinyt"

"Höyrykattilavalmistajia Ahlström ja Tampella ydintekniikkaa kiinnosti, Valmet oli tehnyt mm. paperikoneita, Nokia instru- mentointia, Strömberg moottoreita. Yhtiöt halusivat kotimaista valmistusta myös ato- mipuolella. Kun sitten Loviisan tilaus tuli kesällä 1970, SAR ja sen jatkajaksi vuoden- vaihteessa 1969-70 perustettu Finnatom (FA) olivat tehneet Imatran Voiman (IVO) kanssa jo paljon yhteisselvityksiä."

Osaamisen katoavaisuudesta

"Loviisan sopimus koski vain ykköstä mutta periaatteessa kakkosestakin oli jo sovit- tu. Ykköstä ruvettiin rakentamaan v.1970 ja kakkosta v.1972. Ykkösen piti valmistua kesällä 1976. Se valmistui 1,5 vuotta myö- hemmin, ei niin mahdollisesti myöhässä, kakkonen myöhästyi enemmän. Jo käyn- tiin ajettaessa laitos oli 1,5 vuotta myö-

hässä mutta lopulliset luvat tulivat vasta kolme vuotta myöhemmin v. 1983. Eli jos Olkiluoto 3 vähän myöhästyy, niin ei sitä minään katastrofina tarvitsisi nähdä.”

Ei kai. Nyt puhutaan että ei enää osata. Silloin puhuttiin ettei vielä osattu.

”Pitää paikkansa että silloin ei vielä osattu ja nyt ei enää osata. Johdin vv. 1970-74 Karhulassa pääkiertopumppujen kehitysprojektia vaikkakin Helsingissä asuen.”

”Projektissa oli mm. ins. **Jukka Timperi**, nyt kai eläkkeellä, mutta vuosi sitten tavatessamme vielä Karhulan pumpputehtaan johtaja. Hän sanoi erääksi syyksi, ettei konepajateollisuus saanut juuri mitään tilauksia Olkiluoto 3:een, että sillä ei enää ollut tietotaitoa, 1970 -luvun kaverit ovat jo eläkkeellä. Kerran mietimme Loviisan laitoksen käyttöpäällikkönä kauan olleen **Anders Palmgrenin** kanssa miksi Loviisan ja Olkiluodon laitoksien käytettävyyshälytykset ovat niin hyviä, johtavia maailmassa. Hän sanoi että Loviisassa se johtui mm. siitä että Timperi & Co. olivat aina tavoitettavissa. Kotimaan teollisuus oli toimittanut tärkeitä komponentteja, joten niiden insinöörit myös tunsivat laitoksen. Jos tuli ongelmia, he ehtivät jopa alle parin tunnin paikalle.”

”Teimme Karhulaan ison pumppujen koestuslaitoksen mukana mm. DI:t **Henrik Immonen, Lars Pawli ja Jaakko Kuusela**. Kehitimme pumppuja, moottorit olivat Strömbergiltä. Tusinan verran miehiä koeajoi pumppuja normaalikäyttöoloissa. Laitos oli täysi koestuslaitos vedenpuhdistuslaitoksineen. Kokeita tehtiin eri frekvensseillä ja mm. Karhulan kaupala kytkettiin pois verkosta. Erikoista että niin voitiin tehdä.”

TVO ja Finnatom syntyvät

Miksi ja miten Suomen Atomiteollisuusryhmä syntyi, syntyikö tarve työn teon myötä?

”Tehtiin töitä ja selvityksiä. IVO:n kanssa oli Candu -selvitys ja muuta. Sitten 15 yhtiötä perusti Teollisuuden Sähkö-Yhtymän kesällä 1966 ja sen seuraajaksi Teollisuuden Voima Oy:n (TVO) talvella 1969. TVO ja FA perustettiin aika samoihin aikoi-

hin. Teollisuuden omistaman TVO:n ideana oli tehdä sähköä kilpailussa valtion omistaman IVO:n kanssa. Poliittisista syistä IVO:n projekti venäläisten kanssa piti saada päätetyksi ennen kuin TVO kunnolla pystyisi saamaan toimintansa käyntiin.”

TVO ja Finnatom ovat molemmat tavallaan lähtöisin VYY:stä, vai kuinka?

”Aivan, olivathan samat vuorineuvokset sekä VYY:n että TVO:n hallituksissa ja osa heistä perusti SAR:n ja FA:n.”

Finnatomin peräsimessä

Toiminnassa oli mukana tuolloin varmaan mielenkiintoisia nimiä?

”Muutimme Varkaudesta Munkkiniemen Tiilimäkeen Helsinkiin v.1963 mutta jatkoin Ahlströmillä vuoteen 1975. SAR:n toiminnanjohtajasta Ekonon **Uolevi Luodosta** tuli FA:n tj. Hän palasi Ekoon v.1975 ja minusta tehtiin tj. ja **Juhani Kuusesta** ja tutkimusjohtaja. **Jaakko Ihamuotila** oli silloin Valmetin tj. ja FA:n hall. pj. (1974-78). Ensimmäinen hall. pj. oli **Bjarne Nyman** (1970-74), Ahlströmin johtaja. Perustajayhtiöiden johtajat olivat vuoron perään ensin SAR:n ja sitten FA:n hall. pj:na, jokaisesta osakasyhtiöstä oli aina yksi johtaja hallituksessa. **Georg Ehnrooth** Wärtsilästä oli hall. pj. vv. 1978-79, Rosenlewin **Jaakko Koskinen** vv. 1979-81, Tampellan **Risto Piispanen** vv. 1981-1983 ja hänen jälkeensä Rauma-Re-

Assosiaatiosanaleikki

- Kauniainen?*
- ”Miellyttävä paikka.”*
- Suomensuosalaisuus?*
- ”Hilpeä tunnelma.”*
- Kielitaito?*
- ”Vielä riittämätön.”*
- Radioaktiivisuus?*
- ”Positiivinen kuva säteilystä.”*
- Finnatom?*
- ”Työ.”*
- Väitöskirja?*
- ”Hobby.”*
- ATS?*
- ”Informaatio.”*

polan **Paavo Holmström**, joka jäsenenä oli kaikkein pisimpään FA:n hallituksessa, vv. 1970-96.”

”Ehnrooth oli Wärtsilän johtaja yhtiön tehdessä suojakuvun Loviisaan. Hän kertoi vuosi sitten minulle että he nostivat pienestä bunkkerista käsin koeajossa kuvun painetta ja jännittivät, kuinka kuvun käy, pamahtaako se?”

”Kävimme harva se kuukausi ministeri **Eero Rantanen** luona KTM:ssä esittämässä teollisuuden kantoja, mitä pitäisi tehdä, mihin pitäisi ehkä saada vähän tutkimusrahaa, jne. Keskustelimme Loviisa kolmosesta ja SECURE-laitoksesta. IVO:n kanssa teimme tarjouksia koskien Neuvostoliiton, Libyan, Iranin ja Irakin laitoksia. Oli projekteja toisaalta yhdessä IVO:n kanssa ja toisaalta yhdessä Asea-Atomin kanssa.”

Ydinenergia-alan toiminta oli intensiivistä 1970 -luvulla mutta sitten se hidastui. Mitä tapahtui Finnatomille? Milloin se varsinaisesti lopetti toimintansa?

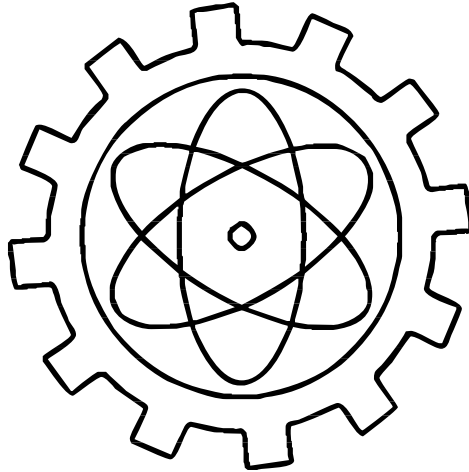
”Työt vähenivät ja iso organisaatio purettiin. V. 1985 FA siirtyi minulle edellytyksellä että ylläpidän yhtiötä uutta käyttöä varten viiden vuoden ajan. Pidin 16 vuotta. Oli pieniä konsulttitoimia, kunnes v.2001 myin yhtiön pienellä rahalla. FA toimii yhä muttei ydinenergia-alalla vaan tuontiagentuurina. FA:n seurauksia olivat myös insinööri-toimistot Oy Femdata Ab ja Oy Termeca Ab Engineering mutta Suomen ydinvoimalaitokset ovat tietysti niitä varsinaisia seurauksia.”

Harrastuksena väitöskirjan teko

Olet aloittanut myös väitöskirjatyön tekemisen, mikä sen aihe on, miten se edistyy?

”Ryhdyin työhön pari vuotta sitten ja tavoitteeni on saada se valmiiksi ensi vuonna. Olen haastatellut samoja henkilöitä, joista sinäkin mainitsit, **Pekka Jauhoa, Juhani Kuusta**, jne.”

”Aihe koskee ydinvoiman tuloa Suomeen: ”Introduktionen av kärnkraften i Finland, en undersökning med speciell fokus på verkstadsindustrin.”



ATS yhdistänyt ydintekniikan osaajia viidellä vuosikymmenellä

Suomen Atomiteknillisen Seuran (ATS) tarkoituksena on edistää ydintekniikan tuntemusta ja kehitystä, toimia yhdysseiteenä ydintekniikan alalla toimivien jäsentensä kesken sekä vaihtaa tietoja ja kokemuksia kansainvälisellä tasolla. Seuran koossapitävä voima on toimialan selkeys ja mielenkiintoisuus sekä tieteelliseltä että tekniseltä kannalta. Seuran työlle antaa hyvän perustan ydintekniikkaan oleellisena osana liittyvä tekninen idealismi ja alalla toimivien ihmisten hyvä ammattilypeys.

ATS:n perustamiskirja toimitettiin yhdistysrekisteriin 41 vuotta sitten (22.8.1966). Seura perustettiin yhdistämään Suomessa kokonaan uuden tekniikan alan ihmisiä. Perustamiskirjan alkikirjoittajina toimivat **Pekka Jauho**, **Kalevi Numminen** sekä **Tapio Eurola**. Sääntöehdotusta laatimaan ja varsinaista perustamiskokousta koolle kutsumaan oli huhituksessa nimetty toimikunta, jonka puheenjohtajana toimi prof. Pekka Jauho, sihteerinä Kalevi Numminen sekä jäsenenä **Olavi Vapaavuori** ja **Daniel Jäfs**.

Perustava kokous järjestettiin 24.5.1966 ja siihen osallistuneet 21 henkilöä ovat seuran perustavia jäseniä. Seuran kunniajäseniksi on vuosien varrella valittu seuraavat 14 henkilöä: **Erkki Laurila**, **Pekka Jauho**, **Jorma K. Miettinen**, **Pentti Alajoki**, **Björn Westerlund**, **Antti Vuorinen**, **Kalevi Numminen**, **Anneli Salo**, **Olavi Vapaavuori**, **Magnus von Bonsdorff**, **Ilkka Mäkipentti**, **Anders Palmgren**, **Heikki Kalli** ja **Mauno Paavola**.

Merkittävänä kansanvälisinä tunnustuksina voidaan mainita Magnus von Bonsdorffin kunniajäsenyys European Nuclear Societyssä (ENS) sekä Pekka Silvennoisen puheenjohtajuus samassa seurassa.

Vähäisten voimavarojen kohdentamiseksi ja päällekkäisyyksien välttämiseksi nähtiin tarpeelliseksi muodostaa ATS toimimaan teknistieteellisenä elimenä, joka mahdollistaisi mahdollisimman avoimen tiedonkulun alalla toimivien organisaatioiden välillä. Avoimuuden mahdollisti se, ettei ydintekniikalla Suomessa, toisin kuin monessa muussa maassa, missään vaiheessa ole ollut sotilaallista roolia, vaan ydintekniikka on valjastettu puhtaasti energian tuotantoon. ATS:n ohjaamaan suomalaiseseen atomiteknikan tiedotukseen ja keskusteluun ovat alusta asti osallistuneet myös säteilyn lääketieteelliset käyttäjät ja tutkijat sekä toimintaa valvovat viranomaiset. Tämä on mahdollistanut voimavaroihin nähden tehokkaan ja moniarvoisen seuratoiminnan.

Ensimmäisistä yksiköistä viidennen kysymykseen

Suomen ensimmäisen ydinvoimalan hankintasuunnitelmat alkoivat 1960-luvun lopulla konkretisoitua ja seuran silloinen jäsenistö kartutti aktiivisesti tietämystään ydinenergian peruskysymyksistä. Paljon poliittisiakin piirteitä sisältäneessä prosessissa päädyttiin ratkaisuun, jossa ensin

päätettiin tilata silloisesta Neuvostoliitosta Loviisaan painevesityyppiset reaktoriyksiköt ja myöhemmin 1970-luvun alussa päätettiin Olkiluotoon rakentaa ASEA ATOMin valmistamat kiehutusvesityyppiset reaktorit.

Perustamisvuonna 1966 seuran jäsenmäärä nousi 40:een. Maamme nykyisten ydinvoimaloiden rakentamisvaiheeseen ajoittui myös merkittävä seuran jäsenmäärän kasvu ja nykyisten ydinvoimaloiden valmistuttua jäsenmäärä oli nousut jo noin neljään sataan. Nykyisin jäseniä on noin 730. Erityisesti venäläisvalmistetun Loviisan laitoksen muuntaminen vastaamaan turvajärjestelmiltään länsimaisia suunnitteluperusteita ja turvallisuusvaatimuksia edellytti korkeatasoisen kotimaisen asiantuntemuksen luomista kaikkiin seurassa aktiivisesti mukana oleviin organisaatioihin.

Varsin pian nykyisten reaktorien onnistuneen käyttöönoton jälkeen alkoi 1980-luvun puolivälissä pitkään jatkunut keskustelu viidennestä laitoksesta. Energiaoliittista keskustelua onkin Suomessa viimeisen yli kahdenkymmenen vuoden ajan hallinnut kysymys viidennestä ydinvoimalaitosyksiköstä. ATS:n jäsenkuntaa syvästi koskettava asia on julkisessa keskustelussa saanut välillä sellaisia piirteitä, joihin asiantuntijoiden on ollut vaikea puuttua eikä tunnepitoisessa keskustelussa ole ollut helppo saada rationaalisia perusteita julki. Toisaalta juuri viidenteen ydinvoimalaitokseen liittyvä problematiikka on se positiivinen tekijä, jonka ansiosta ATS:n toiminta ei ole yhteiskunnasta etäännyneen tieteellisen yhteisön keskinäistä puuhastelua, vaan seura on tiukasti mukana yhteiskunnallisessa keskustelussa ja ajan hengessä.

1990- ja 2000 -luvun painopisteet

Samalla kun keskustelu uudesta voimalasta velloi kiivaimmillaan, oli meneillään pitkäjänteinen prosessi ydinvoimaloiden ydinjätehuollon ratkaisujen kehittämiseksi. Pitkälle tulevaisuuteen ulottuva päätöksentekoprosessi määritteli uuden paino-

pisteen myös ATS:n toiminnalle. Jo vuonna 1983 valtioneuvostossa tehtyä periaatepäätöstä pitkän aikavälin välitapeista on pystytty tähän asti noudattamaan. Ainoa merkittävä muutos on ollut luopuminen vuodesta 1996 lähtien Loviisan käytetyn polttoaineen kuljetuksista Venäjälle. Kotimaiseen ratkaisuun perustuva käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusohjelme saavutti merkittävän etapin, kun eduskunta vuonna 2001 vahvisti valtioneuvoston edellisvuonna tekemän periaatepäätöksen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen toteuttamisesta Olkiluodossa.

Vuoden 2000 marraskuussa jätetyn viidennen ydinvoimalaitosyksikön periaatepäätöshakemuksen käsittely oli vuosina 2001–2002 intensiivisessä vaiheessa ja myös ATS osallistui periaatepäätöspro-

sessiin esittämällä omissa lausunnossaan muun muassa seuraavaa: Suomen Atomiteknillisen Seuran toiminnan perusteena on näkemys siitä, että ydinvoimalla on tärkeä osuus Suomen energiantuotannossa. Tuotannon rakenne on ollut ja on tulevaisuudessakin järkevää pitää mahdollisimman monipuolisena. Seuran näkemyksen mukaan fissioon perustuva ydinsähkön tuotanto on yhdistetyssä tuotannossa käytettyjen biopolttoaineiden ohella vielä pitkään ainoa perusvoiman lisäämiseen soveltuva tuotantomuoto, joka ei tuota kasvihuonekaasuja ilmakehään. Koska tehtyjen arvioiden perusteella Suomen kokonais-sähkönkulutus on lähivuosikymmeninä edelleen kasvussa, uuden ydinvoimalaitoksen rakentaminen on ATS:n mielestä jo päästöttömyytensä perusteella Suomen



Seuran 30-vuotisjuhlakutsussa nimetyt kunniajaset

- Erkki Laurila □ Pekka Jauho □ Jorma K. Miettinen □ Pentti Alajoki □
- Björn Westerlund □ Antti Vuorinen

30-vuotisjuhlassa nimetyt uudet kunniajaset

- Kalevi Numminen □ Anneli Salo □ Olavi Vapaavuori

35-vuotisjuhlassa nimetyt uudet kunniajaset

- Magnus von Bonsdorff □ Ilkka Mäkipentti □ Anders Palmgren

40-vuotisjuhlassa nimetyt uudet kunniajaset

- Heikki Kalli □ Mauno Paavola

ATS:n kunniajaset 1966-2006

- 1 Erkki Laurila
- 2 Pekka Jauho
- 3 Jorma K. Miettinen
- 4 Pentti Alajoki
- 5 Björn Westerlund
- 6 Antti Vuorinen
- 7 Kalevi Numminen
- 8 Anneli Salo
- 9 Olavi Vapaavuori
- 10 Magnus von Bonsdorff
- 11 Ilkka Mäkipentti
- 12 Anders Palmgren
- 13 Heikki Kalli
- 14 Mauno Paavola



Suomalais-unkarilainen ydinenergia-alan tietotaidon ja turvallisuuden yhteistyöseminaari 11.9.1979 Budapestissa. Kuvassa vasemmalla Daniel Jáfs (Finnatom), Antti Vuorinen (STUK) ja nimeltä tunnistamaton unkarilainen isäntä. Jáfs sekä Vuorinen ovat olleet aktiivisia ATS:n jäseniä jo seuran alkuvuosista.

kokonaisedun mukaista. Eduskunta hyväksyi viidennen ydinvoimalaitosyksikön periaatepäätöksen 24.5.2006 eli päivälleen 36 vuotta ATS:n perustamiskokouksen jälkeen.

Tietämyksen säilyttäminen keskeistä

Kevään 2001 lausunnossa esitetyt argumentit ovat edelleen paikkansa pitäviä ja seuralla on runsaasti toimintaperiaatteittensa mukaisesti työsarkaa edessään. ATS:n keskeinen tehtävä on edelleen tiedottaminen. Seura julkaisee neljästi vuodessa ilmestyvää ATS Ydintekniikka -leh-

teä, joka on perustettu vuonna 1972. Aluksi vuoteen 1975 saakka lehden nimenä oli ATS Tiedotuslehti.

Toimituskunnan kokoon nähden lehti on saavuttanut huomattavan korkean tason, eikä lehti jäsenkunnan aktiivisuuden ansiosta edes kärsi juttupulasta. Tiedottamistehtävää seura hoitaa myös järjestämällä seminaaritilaisuuksia sekä vierailuja alan koti- ja ulkomaisiin laitoksiin. Seura antaa myös julkilausumia ja pyrkii objektiivisesti osallistumaan ydinvoiman asemasta jatkuvasti käytävään julkiseen keskusteluun.

ATS astui internet-aikaan, kun seuran www-sivut saatiin ensimmäisen kerran

käyttöön vuoden 1997 joulukuussa suomen- ja englanninkielisinä. Samalla kertaa käynnistyi numerosta 4/1997 lähtien käytäntö julkaista ATS Ydintekniikka jäsenlehtemme numeroiden sisältöä www-sivuilla. Aluksi julkaistiin vain pääkirjoitus, sen englanninkielinen versio ja kunkin vuoden muutama keskeinen artikkeli. Vuodesta 2001 lähtien seuran www-sivuilla on julkaistu jäsenlehden sisältö kokonaisuudessaan.

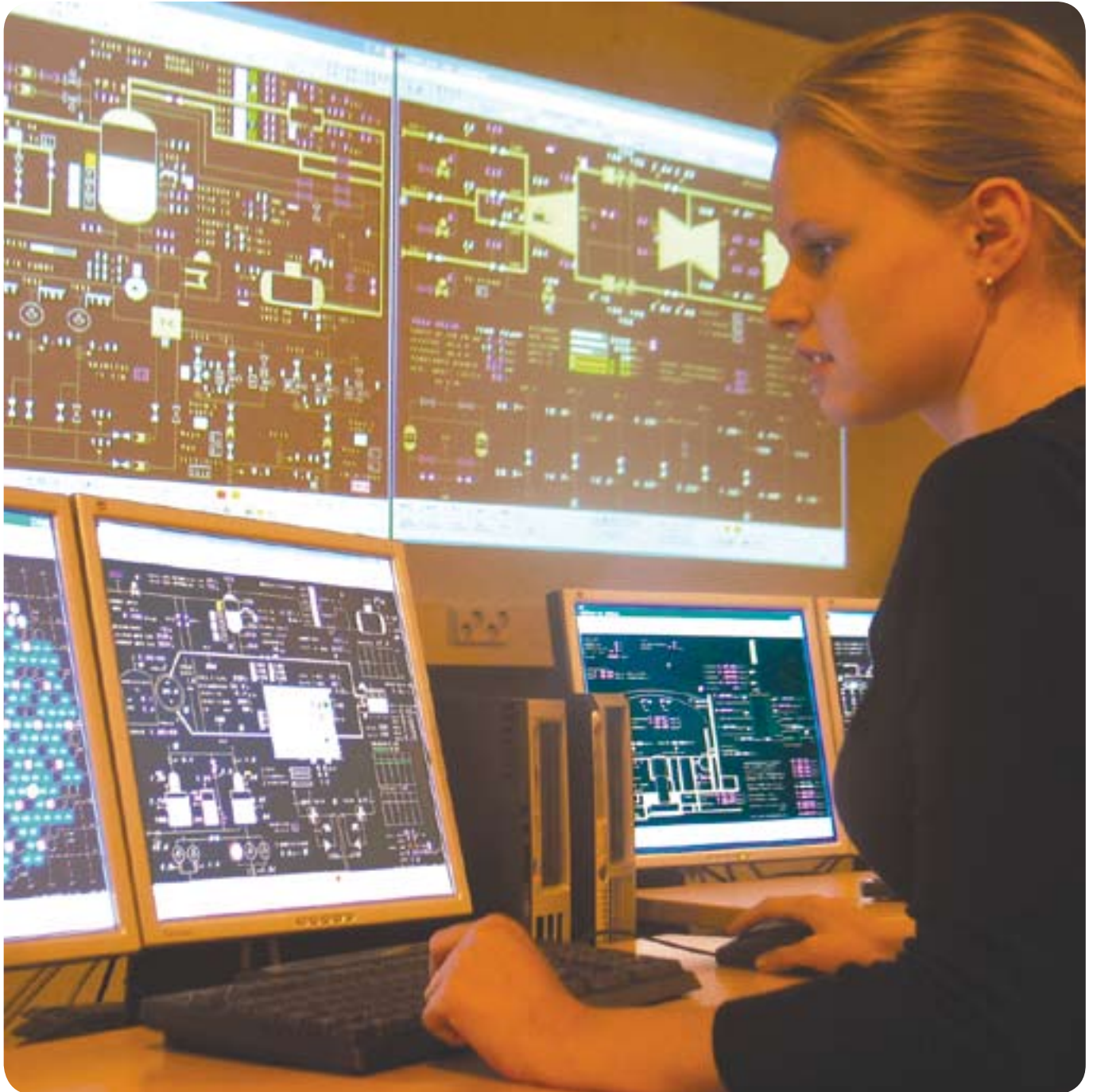
Ydintekniikka alana voi Suomessa hyvin. Tästä on osoituksena Olkiluodon ja Loviisan laitosten erinomaiset käyttöhistoriat, ydinjätehuolto-ohjelman eteneminen pitkän aikavälin suunnitelmien mukaisesti sekä uutena erikoissovelluksena Otanien tutkimusreaktorin käyttö lääketieteellisenä sädehoitoinstrumenttina. Ydintekniikan osaaminen on kansallinen resurssi, jota Suomella ei ole varaa hukata. Siksi ATS:n erityisenä mielenkiinnon kohteena tänään ovat nuoret. Ydintekniikan pioneerien vähitellen vetäytyessä eläkkeelle on huolehdittava, että heidän tietämyksensä ja kokemuksensa siirtyvät uudelle sukupolvelle. ATS:n jäsenmäärä on tänään suurempi kuin koskaan, joten ala on säilyttänyt vetovoimansa ja tarjoaa mielenkiintoisen ja haastavan työkentän myös tulevaisuudessa.

Seuran jäsenistön piirissä ollaan vakuuttuneita, että myös tulevaisuudessa tarvitaan ydinenergia-alan vankkaa osaamista Suomessa ja seuraa perustettaessa esillä olleet tarkoitusperät eivät näin ollen ole vuosikymmenien saatossa menettäneet merkitystään. Kaikissa seurassa edustettuna olevissa organisaatioissa yhtenä haasteellisimpana tehtävänä on osaamisen onnistunut siirtäminen uudelle ydinalan sukupolvelle. Tämä haaste nähdään myös ATS:ssä yhtenä tärkeänä tulevaisuuden toimintalinjoja ohjaavana tekijänä.

1966	40	1980	425	1994	658
1967	60	1981	424	1995	635
1968	70	1982	475	1996	635
1969	120	1983	485	1997	637
1970	150	1984	490	1998	660
1971	180	1985	500	1999	654
1972	190	1986	500	2000	649
1973	255	1987	510	2001	661
1974	300	1988	516	2002	640
1975	340	1989	539	2003	642
1976	370	1990	571	2004	664
1977	380	1991	633	2005	693
1978	400	1992	656	2006	730
1979	420	1993	664		

TkT Seppo Vuori
Asiakaspäällikkö
Ydinenergia
VTT
Seppo.Vuori@vtt.fi





Fortum Nuclear Services Oy

Ydinvoimatekniikan asiantuntija

Fortum Nuclear Services Oy
Keilaniementie 1, Espoo,
PL 100, 00048 FORTUM
puh. 010 45 32416, fax 010 45 32525
e-mail: nuclear@fortum.com





Project Eastinghouse

– teknologinen haaste Loviisassa

Suomi on tänä päivänä teknologian siirtäjä, mutta toisen maailmansodan jälkeen tilanne oli toinen. Sota ja sotakorvaukset heittivät Suomen kauas kehityksen eturintamasta. Teollisuusyritysten omat tutkimus- ja kehitysvalmiudet olivat heikot, eikä Teknillisen korkeakoulun ja sen jatkeena toimivan VTT:n voimavarat riittäneet merkittäviin uuden teknologian kehityshakkeisiin. Suomen ongelmana oli myös geopolitiittinen asema Neuvostoliiton kainalossa. Kylmä sota politisoi teknologian ja monet länsimaat araste-livat myydä Suomeen uusimpia innovaatioitaan.

Teknologian siirto on keskeinen osa teknologista kehitystä. Koneita, laitteita, prosesseja sekä tietoa ja asiantuntemusta on siirretty kautta aikojen luvallisesti ja luvatta rajojen yli. Erityisessä suosiossa ovat uusimmat huipputeknologian innovaatiot ja niiden valmistamiseen tarvittava tieto.

Teknologian siirron suunta on yleensä vakio. Pitemmälle kehittyneet maat tuottavat uutta teknologiaa, joka sitten siirtyy eri teitä vähemmän kehittyneisiin maihin. Tämän kaavan mukaan on arvioitu kansakuntien kilpailukykyä ja kehityksen asteita.

Länsiteknologia ainoa vaihtoehto

Nämä asiat nousivat esiin, kun Suomen valtuuskunta matkusti elokuussa 1955 professori **Erkki Laurilan** johdolla Geneven atomienergiakonferenssiin. Kokouksen taustalla oli presidentti **Dwight D. Eisenhowerin** pari vuotta aikaisemmin käynnistämä Atoms for Peace -ohjelma, joka tarjosi ydinenergian osaamista myös sotilasliittojen ulkopuolelle jääville maille.

Geneven konferenssi antoi varsin realistisen kuvan ydinteknologian tilasta. Monenlaisia reaktoreita kehiteltiin eri puolil-

la maailmaa, mutta hankkeet olivat kaikki enemmän tai vähemmän kokeiluasteella.

Yksi asia oli kuitenkin varma. Jos ja kun Suomi käynnistäisi oman atomienergiaprojektin, tarvittava teknologia hankittaisiin lännestä. Neuvostoliitto kehitti myös omaa rauhanoimaista atomienergiohjelmaa, mutta itäisen naapurin teknologinen tyyli ja kulttuuri eivät kiinnostaneet suomalaisia.

Triga loi pohjan

Erkki Laurilan johtama Atomienergieneuvottelukunta ryhtyi kiinnittämään Suomea monin eri sitein läntiseen teknologia-kulttuuriin. Laurila itse vieraili Yhdysvalloissa selvittämässä ydinenergian koulutus- ja tutkimusjärjestelmää. Samaan aikaan atomienergieneuvottelukunta rahoitti insinöörien, fyysikoiden ja kemistien opiskelua tutkimusmatkoja Yhdysvaltoihin ja läntiseen Eurooppaan.

Yksi osa teknologian siirtoa oli myös Teknillisen korkeakoulun reaktorilaboratorio, jonne hankittiin 1960-luvun alussa General Dynamics -yhtiön valmistama Triga II -kooreaktori. Sen avulla koulutettiin kokonainen sukupolvi suomalaisia huippuosajia hallitsemaan reaktorin toimintaa kaikissa olosuhteissa.

Idän ihme

Imatran Voima käynnisti 1960-luvun puolivälissä kansainvälisen tarjouskilpailun, jossa etsittiin avaimet käteen -periaatteella ydinvoimalan toimittajaa. Kilpailu herätti suurta huomiota, ja lähes kaikki potentiaaliset toimittajat lähettivät oman tarjouksensa Helsinkiin. Pitkällisten selvittelyjen jälkeen Voimatalossa päädyttiin saksalaisen AEG:n tarjoukseen. Länsisaksalaiset tarjosivat Loviisaan kahta kevytvesireaktoria sekä sähköntuotantoon tarvittavia turbiineja.

Imatran Voiman hanke meni kuitenkin myttyyn. Neuvostoliiton Tekhnopromeksport oli myös osallistunut tarjouskilpailuun, mutta vaatimaton ja huonosti tehty hakemus ei päässyt edes loppukilpailuun. Neuvostoliitolla oli kuitenkin keinot, joilla Suomen hallitus ja Imatran Voima saatiin muuttamaan pelinsääntöjä.

Kulissien takana käytiinkin pitkiä ja raskeitä neuvotteluja, joiden lopputuloksena Imatran Voiman oli hyväksyttävä Tekhnopromeksportin tarjous. Loviisan voimalaitokseen oli tulossa idästä kaksi ns. Novo Voronesh -tyyppistä VVER-painevesireaktoria. Sopimukseen sisältyi myös kaksi neuvostovalmisteista 220 MW:n turbiinia.

Neuvostoliiton väliintulo käänsi ydinvoimahankkeen päälaelleen. Imatran Voima joutui luopumaan avaimet käteen -projektista, koska Tekhnopromeksport ei pystynyt toimittamaan suomalaisten vaatimia turvallisuuskomponentteja ja reaktorin instrumentointia. Neuvostoliittolaiset kieltäytyivät myös ottamasta kokonaisvastuuta voimalaitoksen rakentamisesta. Näin Imatran Voiman oli rakennettava Loviisan ydinvoimalaitos omin avuin.

Pakka sekaisin

Suomessa ei luonnollisesti ollut varauduttu tällaiseen tilanteeseen. Imatran Voimalla oli kyllä ydinvoimaosaamista, mutta ei siinä

määrin, mitä uudistunut sopimus edellytti. Yhtiö oli myös hankkinut aikaisempiin voimalaitosprojekteihin teknologiaa eri maista, mutta ydinvoima oli erikoistapaus.

Ydinvoimalatyypit olivat kaikki omalla tavallaan erikoistapauksia, eikä keskeisiä komponentteja voitu asentaa ilman merkittäviä muutostöitä ja suunnittelua toiseen laitokseen. Tämä koski erityisesti neuvostovalmisteisia reaktoreita, joiden teknologiasta ei lännestä ollut juuri mitään tietoa.

Imatran Voima joutui siten lähes mahdollottoman tehtävän eteen. Loviisan voimalaitokselle oli asetettu tiukka toimitusaikataulu, mutta VVER-reaktorin tilaus viivästytti hanketta heti usealla vuodella. Imatran Voima joutui suunnittelemaan ja rakentamaan täysin uuden voimalaitoksen, johon oli kaiken lisäksi hankittava huipputeknologiaa lännestä.

Tällaista hanketta oli vaikea ottaa todesta kylmän sodan hydyttämässä maailmassa. Ydinteknologian siirtäminen maas-



Loviisan ykkösreaktorin ulomman, teräsbetonisen suojarakennuksen rakentamisen tilanne lokakuussa 1971. (Kuva: Fortum Power and Heat Oy.)



Voimalaitoksen päämuuntaja saapumassa Hästholmeniini elokuussa 1997.
(Kuva: Fortum Nuclear and Heat Oy)

ta toiseen oli vaikeasti järjestettävä poliittinen operaatio siinäkin tapauksessa, että siirto tapahtui ideologisesti saman poliittisen leirin sisällä. Ajatus neuvostovalmisteen reaktorin ja läntisen huipputeknologian sovittamisesta samojen seinien sisään kuului siten lähinnä science fiction kirjallisuuteen.

Project Eastinghouse

Loviisan ydinvoimalaprojekti sai paljon puhuvan lempinimen Project Eastinghouse. Nimi kuvaa hyvin monimutkaista teknologista palapeliä, jota diplomi-insinööri **Kalevi Numminen** johtama Oravakomppania ryhtyi kokoamaan 1970-luvun alussa. Palapelin osia eli uuden voimalaitoksen teknologisia komponentteja haettiin 'kissojen ja koirien' avulla sekä idästä että lännestä. Avuksi tarvittiin diplomatiaa, pitkää pinnaa sekä tietysti paksua lompakkoa.

Numminen vietti loputtomasti aikaa Moskovan junassa, pitkillä lennoilla Atlantin yli sekä tiivistunnelmaisissa kabineteissa Saksassa, Sveitsissä ja Yhdysvalloissa. Yhdysvalloissa osa Imatran Voiman havittelemista laitteista oli vientikiellossa ja laitteiden myynti Suomeen vaati korkeimman poliittisen johdon erikoisluvan. Länsi-Saksassa olttiin puolestaan edelleen nyreissään Imatran Voiman päätöksestä hankkia reaktori Neuvostoliitosta. Numminen ei siten juurikaan saanut ymmärrystä ajatukselleen yhdistää itäinen ja läntinen teknologia toimivaksi kokonaisuudeksi Loviisan ydinvoimalassa.

Numminen ei kuitenkaan luovuttanut. Neuvotteluja jatkettiin sitkeästä vastarinasta huolimatta ja lopulta kaikki tärkeimmät laiteoimittajat suostuivat yhteistyöhön. Mikä oli todellinen motivaatio, siihen ei varmaan saada koskaan yksiselitteistä vastausta. Imatran Voiman ostajat olivat kuitenkin liikkeellä suotuisaan aikaan, sillä Neuvostoliiton ja Yhdysvaltojen suhteet lämpenivät pitkän kylmän kauden jälkeen. Kumpikin suurvalta pyrki lisäämään korkean teknologian vientiä ja yhteistyöhankkeita suunniteltiin niin maan päällä kuin avaruudessa.

Project Eastinghouse rakentui neljästä suuresta elementistä, jotka kaikki tulivat eri puolilta maailmaa. Neuvostoliitosta hankittiin kaksi Novo Voronesh -tyyppistä VVER-reaktoria apulaitteineen sekä turbiinit. Reaktorin ympärille rakennettava teräksinen suojakuori tilattiin puolestaan konepajayritys Wärtsilältä. Reaktorin hätälauhdutusjärjestelmäksi valittiin amerikkalaisen Westinghousen kehittämä jäälauidutin, ja voimalaitoksen toiminnan valvontaan ja ohjaukseen tarvittavan instrumentaation toimitti saksalainen Siemens AG.

Tämän lisäksi tuli vielä koko joukko pienempiä komponentteja ja esimerkiksi tärkeä prosessitietokone saatiin Nokialta. Monimutkaisen projektin aikataulutukseen käytettiin amerikkalaista tietokoneohjelmaa ja laitoksen suunnittelu- ja asennustyöhön haettiin apua sveitsiläisiltä ja saksalaisilta konsulttiyrityksiltä.

Takaisin kiertoon

Loviisan ydinvoimalan ensimmäinen reaktoriyksikkö kytkettiin valtakunnanverkkoon helmikuun 8. päivänä 1977. Projekti oli useita vuosia myöhässä ja loppuun asti oli epävarmaa, saadaanko monikansallinen reaktori toimivaan kuntoon. Juhlallisissa vihkiäisissä nähtiin kuitenkin arvovaltaisia vieraita Neuvostoliitosta, Suomesta, Saksasta ja Yhdysvalloista. Kylmä sota näytti katoavan hetkeksi pienellä Hästholmenin saarella maaliskuussa 1977.

Mutta teknologian siirto jatkui. VVER-reaktorissa havaittiin pian useita rakenteellisia ja toiminnallisia heikkouksia, jotka heikensivät laitoksen tehokkuutta. Vuosia jatkuneissa korjaustöissä Imatran Voiman insinöörit **Anders Palmgrenin** ja **Jussi Helskeen** johdolla käytännössä uudistivat VVER-reaktorin. Uudistusten jälkeen reaktorin nimestä katosi myös alkuperäleima "Novo Voronesh", joka korvautui uudella leimalla "Loviisa".

Imatran Voima ryhtyi markkinoimaan yhdessä Neuvostoliiton Atomenergoeksportin kanssa Loviisa tyyppistä VVER-reaktoria Itä-Eurooppaan ja Pohjois-Afrikan maihin. Kun Neuvostoliitto romahti 1990-luvun alussa, Itä-Euroopan suuri osa vanhoista Novo Voronesh -tyypin reaktoreista uudistettiin Loviisan mallin mukaan.

Näin monikansallinen teknologian siirto idästä ja lännestä Loviisaan synnytti uuden teknologian, jota sen jälkeen on siirretty uudessa poliittisessa kontekstissa eri puolille maailmaa. Näin teknologian siirto ainakin Loviisan esimerkin perusteella on huomattavasti monimutkaisempi ilmiö kuin yleensä ajatellaan.

Teknologiaa siirretään paikasta toiseen, mutta samalla se muuttuu kulttuuristen, sosiaalisten ja poliittisten voimien muokkaamana.

FT Karl-Erik Michelsen
Professori, aluetutkimus
Etelä-Karjala-instituutti
Lpr:n teknillinen yliopisto
karl-erik.michelsen@lut.fi



Loviisan projekti oli hankala mutta opettava



DI Harry Lamroth toimii nykyisin Fortum Nuclear Services Oy:ssä suunnittelupäällikkönä ja on ATS:n johtokunnan varapuheenjohtaja. (Kuva: Kai Salminen)

Harry Lamroth oli valmistumassa oleva teekkari, kun Loviisan voimalaitoksen rakennusprojektin päällikkö Kalevi Numminen palkkasi hänet Imatran Voimaan, projektin turvallisuustoimistoon vuonna 1970. Lamroth kertoo muistavansa hyvin Nummisen saatesanat palkkauksen yhteydessä: "Kuules Harry, sinun tehtäväsi ei ole poh-tia, miksi tämä laitos tulee idästä. Sinun tehtävänäsi on katsoa, että se täyttää suomalaiset vaatimukset." Ensitöikseen Lamroth oli mukana laatimassa laitoksen turvallisuuskriteerit lähinnä amerikkalaisen vaatimusten pohjalta.

IVO:N LÄHTÖKOHTANA oli ollut laitoksen tilaaminen lännestä, eikä neuvostoliittolaisista ydinvoimalaitoksista ollut edes tarkkaa tietoa. "Keskusteluja oli käyty ensin kanadalaisten, sitten amerikkalaisten, ruotsalaisten ja brittien kanssa jo vuosia", Lamroth toteaa.

YDINVOIMALAITOKSEN HANKKIMINEN valtionyhtiöön oli kuitenkin herkkä asia: "Poliittinen johto käveli Imatran Voiman johdon yli, ja laitos tilattiin idästä." Lamrothin mukaan alusta asti oli selvää, että ulkoministeri Leskisen Moskovassa 1969

sopima laitostoimitus ei ollut IVO:n tavoittelema kokonaistoimitus.

"Laitoksen suunnitteluun tehtiin merkittäviä muutoksia: suojarakennus, suuren jäähdytteenmenetyssonnettomuuden vaatimat hätäjäähdytysjärjestelmät ja moderni laitosautomaatio." Kokonaistoimitusmalli ei siis tullut kyseeseen. "Avaimet käteen -toimituksen sijaan saatiin jokoavaimet käteen -toimitus", Lamroth kuvaa projektin luonteen muuttumista.

PROJEKTI JAETTIINKIN kahteen osaan, ja Neuvostoliiton osuus sisälsi lähinnä primääri- ja sekundääripiirin päälaitteiden toimituksen. "Suomalainen teollisuus järjestäytyi Finnatomin alle toimittamaan laitteita Loviisaan", Lamroth toteaa, "Suomalainen teollisuus oli rohkea osallistuksessaan Loviisan rakentamiseen täysin uusilla osa-alueilla, esimerkiksi Nokia toimitti laitokselle prosessitietokonejärjestelmän ja Ahlström primääripiirin kierto-pumput."

Loviisan rakentaminen merkitsi suomalaiselle teollisuudelle merkittävää kehitystä, mutta myös Neuvostoliitto sai suomalaisilta oppitunteja. Lamrothin mukaan laitosprosessien kokonaisvaltainen yhdistäminen automaatioon oli neuvostoliittolaisille uusi asia.

"Primääripiirin suunnittelu vastasi jotenkuten amerikkalaisten ASME-tasoa, mutta sekundääripiirin ja muiden järjestelmien laatu ei ollut järin korkea. Tässä neuvostoliittolaiset oppivat valtavasti."

Suomalaiset ovat myös opettaneet neuvostoliittolaisille laadunvarmistusta komponenttien ja polttoaineen valmistuksessa – "Asia, josta sikäläinen teollisuus on hyötynyt myöhemmin", Lamroth sanoo.

Kaiken kaikkiaan Harry Lamroth pitää Loviisan rakentamista onnistuneena hankkeena: "Projekti oli hankala, mutta kasvatti osaamistamme valtavasti. Osaamista on pystytty myöhemmin hyödyntämään konsulttitoiminnassa."

■
Kai Salminen

TVO ja Ruotsin ydintekniikan kytkennät

Suomessa ja Ruotsissa ydinvoiman käyttöönotto kulkivat eri teitä. Suomeen ei toisen maailmansodan jälkeen rakennettu omaa ydinteknistä tutkimuskustaa, kuten Studsvik, Kjeller tai Risø. Ydintekninen korkeakouluopetus ja tutkimus keskitettiin Teknilliseen korkeakouluun ja VTT:een. Teollisuus, sekä valmistajana että sähkön käyttäjänä, seurasi tilannetta. Suomessa tarkkaa ydinteknisen kehityksen seuraamista ja koulutusvaihetta vastasivat ajallisesti Ruotsin samanaikainen ydinvoimalaitosten prototyyppien suunnittelu ja rakentaminen. Valmistava teollisuus perehtyi Suomen Atomiteollisuusryhmän / Oy Finnatom AB:n kautta Ruotsista saatujen alihankintojen yhteydessä uusiin valmistusmenetelmiin ja laatuvaatimukseen. Jatkossa konkreettinen, Olkiluodon ydinvoimalaitoshankkeisiin liittyvä toiminta lisäsi maamme ydinteknistä asiantuntemusta.

Ydintekniikan kehitystyö lähti Ruotsissa käyntiin heti toisen maailmansodan jälkeen. Tuolloin ei U-235:n väkevöintipalveluja ollut tarjolla USA:n ulkopuolella. Uusien tulokkaiden täytyi siksi valita luonnonuraanilla käyvä reaktorityyppi. Ydinteknologian kehitystyön lähtökohdina Ruotsissa olivat alkuvuosina kotimaisen luonnonuraanin hyödyntäminen ja raskaan veden käyttö hidastimena, "den svenska linjen".

Ruotsin ensimmäinen raskasvesihidas-teinen tutkimusreaktori R1 rakennettiin KTH:n tiloihin Tukholman keskustaan. Reaktori käynnistyi 1954. Kaikki uudetkin suunnitelmat perustuivat kansalliseen luonnonuraani/raskasvesilinjaan. Rinnakkais-ten suunnitelmien lopputuloksena syntyi sopimus osapuolten AB Atomenergi (AE), Vattenfall, ASEA ja Stockholms Elverk kesken Adam/R3 -lämmitysreaktorilaitoksen rakentamisesta Ägestaan, Tukholman eteläpuolelle.

Ägestan reaktori oli tyypiltään raskasvesipainevesireaktori. Reaktorin primääripaine oli 40 bar ja terminen teho 65 MW. Laitos tuotti 55 MW kaukolämpöä ja 10 MW sähköä. Sen päätoimittaja oli ASEA ja polttoaineen valmistaja AE. Laitos rakennettiin kallion sisään ja kaukolämpö siirrettiin Farstan lähialueeseen. Rakentaminen alkoi 1957 ja laitos otettiin käyttöön 1964. Sinänsä onnistunut käyttö loppui kannattamattomana 1974.

Kunnianhimoinen Marviken –projekti käynnistyi

Vuoden 1961 alussa AE käynnisti esitutkimuksen kunnianhimoisesta sähköä tuottavasta ydinvoimalaitoksesta. Tämä tutkimus, "Boiling and Superheating Full-scale study"; BASHFUL, muodosti lähtökohdan Marviken -projektille. Marvikenin reaktorin sähkötehoksi suunniteltiin 200 MW.

Suunnittelun tavoitteena oli luonnonuraanilla toimiva ja tulistettua höyryä tuottava raskasvesikiehuksreaktori jossa polttoainetta voitaisiin vaihtaa käytön aikana. TVO:n tuleva toimitusjohtaja **Magnus von Bonsdorff** työskenteli hankkeessa vuosina 1961-1963, ennen siirtymistään Englantiin heliumjäähdytteisen korkealämpötilareaktorin, "Dragon", kehitystyöhön.

Marviken -projektin päästyä käyntiin alkoivat monet mukana olleet – Magnus mukaan luettuna – epäillä hankkeen järkevyyttä. Laitokseen liittyi monia ratkaisemattomia teknisiä kysymyksiä. Hankinta päätettiin kuitenkin toteuttaa v. 1964 ASEA:n toimiessa päätoimittajana. Laitos valmistui v. 1968, mutta sitä ei kuitenkaan koskaan otettu käyttöön. Uusilla, kehittyneemmällä reaktorifysikaalisilla laskelmillä oli osoitettu, ettei reaktorin stabiiliisuutta voitu taata kaikissa tilanteissa.

Kiehuksvesireaktoreita kehitettiin raskasvesireaktoreiden rinnalla

ASEA, joka sai ensimmäisen ydinteknisen patentin jo vuonna 1947, perusti ydintekniikkaosaston vuonna 1955. Raskasvesireaktoreiden kehitystyön rinnalla ASEA ryhtyi vuonna 1962 kehittämään omaa kiehuksvesireaktoria. Työ pohjautui Ägestan ja Marvikenin suunnittelusta ja rakentamisesta kertyneeseen kokemukseen. Tuloksena syntynyt kiehuksvesireaktoria tarjottiin v. 1964 Oskarshamn Kraftgrupille (OKG) avaimet-käteen periaatteella ja mittavilla takuilla. OKG teki reaktorilaitoksen 14.7.1965 ja ensimmäinen ASEA:n suunnittelema, 440 MW kiehuksvesireaktori Oskarshamn 1 kytkettiin verkkoon 1971. Myös laitoksen polttoaine valmistettiin Västeråsissa. Tätä ennen yhtiön nimi oli muuttunut, kun ASEA ja valtiollinen AE olivat yhdistyneet AB ASEA Atomiksi vuonna

1969. Seuraavan tilauksen yhtiö sai Ringhals 1:n toimittamisesta. Kaiken kaikkiaan yhtiö toimitti 11 reaktoria, 9 kotimaahan ja 2 Suomeen.

ASEAlla oli reaktoritoimituksissaan lukuisia alihankkijoita, joista osa suomalaisia ryhmitettyinä Suomen Atomiteollisuusryhmään, myöhemmin Oy Finnatom Ab:een. Tampella toimitti vuonna 1967 monimutkaisien sisäisen latauskoneen ja A. Ahlström raskasvesilämmönvaihtimia Marvikiin. Finnatom toimitti myös Oskarshamn 1:n reaktorin sisäosat. Vuonna 1967 keskusteltiin pohjoismaisen ydinenergia-yhteistyön tiivistämisestä. Keskusteluisa pohdittiin mm. yhteispohjoismaisen reaktorivalmistuksen aloittamista, "reaktor-SAS"; uraanin rikastamista ja geotermisen energian hyödyntämistä raskaan veden tuotannossa Islannissa.

ASEA osallistui Suomalaisten laitosten tarjouskilpailuihin

Suomessa ydinvoimalaitosten rakentamista suunniteltiin ensimmäisen kerran 1960-luvulla. Vuonna 1969 perustettu TVO käynnisti oman hankkeensa 1960-luvun lopulla. Vuonna 1971 olivat suunnitelmassa mukana seuraavat kuusi laitostoimittajaa:

- ASEA-Atom, Ruotsi, BWR, kokonaistoimitus
- Combustion Engineering Inc., USA, PWR, turbiini Brown Boveri & Cie, Sveitsi
- General Electric, USA, BWR
- Kraftwerk Union AG, L-Saksa, BWR ja PWR
- Westinghouse Electric, USA, PWR, turbiinitoimittajana joko - GEC – English Electric Reactor Equipment Division, UK, tai - Brown Boveri & Cie, Sveitsi
- V/O Technopromexport, Neuvostoliitto, PWR.

TVO:n mielenkiinto kohdistui perusteellisesti kaupallisessa käytössä koeltuihin kevytvesireaktoreihin, jonka toimittajalla oli vastaavia reaktoreita jo kaupallisessa käytössä. Laitostoimittajan valinnasta ei järjestetty tarjouskilpailua, vaan TVO neuvotteli eri toimittajien kanssa epävirallisesti yhtiön hankintaohjelman ja sopimusehdotuksen pohjalta. Neuvotteluissa selvitet-

tiin vertailujen tekemiseksi tarvittavat tekniset ja taloudelliset tiedot. Lähtökohtana oli, että lopullisiin sopimusneuvotteluihin valittaisiin yksi toimittaja.

Neuvotteluissa loppusuoralle valittiin kolme toimittajaa:

- Westinghouse (USA) – General Electric Co. (Englanti), PWR
- General Electric Co. (USA) – Brown Boveri (Sveitsi), BWR
- ASEA Atom (Ruotsi), BWR.

Hintatarjousten perusteella selvisi, että kilpailu tapahtuisi ASEA Atomin ja Westinghousen välillä. Aluksi amerikkalainen Westinghouse oli vahvoilla laajempien referenssiensä takia. ASEA Atom puolestaan halusi Olkiluodosta itselleen referenssin ulkomaisten tilausten saamiseksi. Ruotsalaiset tekivät voimakkaasti töitä oman vaihtoehdonsa puolesta toimitusjohtaja **Lars Hallen** johdolla. Hankkeen taustalla vaikutti myös **Marcus Wallenberg**, jolla oli hyvät suhteet presidentti **Kekkoseen**.

Toimittajan valinnassa tärkeä seikka oli varavoiman saanti. ASEA Atomin tarjouksessa Vattenfall lupasi toimittaa varasähkön Suomeen IVO:n verkon kautta. Westinghousen puolesta puhui kokemus: 17 rakennettua laitosta, 73 rakenteilla, 14 tilauksessa ja käyttökokemuksta 65 reaktoriavuotta.



Marviken -reaktoria ei otettu koskaan käyttöön, mutta se toimi myöhemmin merkittävänä ydinteknisenä tutkimuslaitteena

Päätös toimittajan valinnasta tehtiin TVO:n hallituksen työvaliokunnassa loka-kuussa 1972. Valinta kohdistui ASEA Atomiin ja perusteluina esitettiin mm. seuraavaa:

- Hieman edullisempi hinta.
- Eskalaatioehdot paremmat, katto 15%.
- Hyvät toimitusluoton rahoitusehdot ja valinnanvaraa luottotakuiden osalta.
- Mahdollisten erimielisyyksien ratkaisemisessa tulevia neuvottelutilanteita ennustettiin helpommiksi.
- ASEA Atomin omistivat puoleksi ASEA ja Ruotsin valtio, joille vastuu toimituksesta lankesi. ASEA Atom vastasi kokonaisvaltaisesti toimituksesta, mukaan lukien rakennustyöt.
- Suomen hallituksen kantana oli ollut, että TVO:n olisi vakavasti harkittava laitoksen tilaamista Ruotsista.
- Hahmottumassa olevat ydinturvallisuusnäkömökset olivat Ruotsissa ja Suomessa samansuuntaiset, joskin Suomessa oli kovemmat vaatimukset.

Loviisan laitoksen tavoin liittyi TVO:n hankintapäätökseen poliittisia vaikuttimia. Valtio asetti omia ehtojaan vaatien riittävän suurta valtion omistuosuutta TVO:ssa. Asiaan vaikuttivat myös poliittisten päättäjien hyvät yhteydet Ruotsiin sekä varvoimaksymykset.

Olkiluoto 1 ja 2 laitosten rakentaminen toteutettiin eri tavoin

ASEA Atom antoi Olkiluoto 1:n (OL1) rakennustyöt ruotsalais-suomalaiselle konsortiolle. Työryhmän nimeksi tuli Atomirakennus ja sitä johti Skånska Cementgjuteriet (SCG). Urakan arvo oli 150 milj. markkaa eli maamme suurimpia. Rakentamisen aikoihin maassamme vallitsi rakennusalan ylikuumeneminen, joka näkyi ammattitaitoisen työvoiman puutteena, palkkatason voimakkaana nousuna ja työmaalevottomuuksina. Vuoden 1976 alussa tapahtui suojarakennuksen valutyön valmistuessa tuhoisa tulipalo, josta lisää tietoja oheisessa haastattelussa. Ongelmat rakentamisessa olivat suuri yllätys laitostoimittajalle, ja ne johtivat toimitusajan pitenemiseen ja

rahallisiin korvausvaatimuksiin. ASEA Atomille tuli myös vaikeuksia valvovan viranomaisen (Säteilyfysiikan laitos, SFL) vaatimusten vuoksi, jotka jo silloin ylittivät Ruotsalaisen tason.

Olkiluoto 2 (OL2) poikkesi rakennustöiden osalta OL1:stä. TVO vastasi itse rakennuttajana urakoinnin tilaamisesta ja valvonnasta. Urakan voitti Jukola, johon kuuluivat ruotsalaiset AB Armerad Betong, Svenska Vägaktiebolaget ja Siab-Byggen AB sekä suomalaiset Oy Finn-Betoni AB ja Oy Siab-Rakennus AB. Mukaan tulivat myös Polar Oy ja Teräsbetoni. Urakkasopimuksen arvo oli 250 milj. markkaa ja lopulliset rakennuskustannukset noin 335 milj. markkaa.

OL1 & 2:n ydintekninen toimitus ja käyttöönotto sujuivat ongelmitta. Hieman yllättäen suurimmat ongelmat toimituksessa liittyivät ASEAn vanhaan pääalaan, sähkögeneraattorien toimitukseen. Laitostoimituksen sisältyneessä, uudessa, vesijäähdytteisessä generaattorissa esiintyi lukuisia ongelmia, kuten vesivuotoja ja säröjä aksleissa. TVO oli kaukaa viisaana varannut generaattorisopimuksessa vararoottorin. Generaattoriongelmat johtivat pitkiin ja vaikeisiin sopimusneuvotteluihin ja korvausvaatimuksiin, jotka saatiin lopullisesti ratkaistua vasta maaliskuussa 1982.

ASEA Atom oli mukana myös käyttöhenkilökunnan koulutuksessa

TVO:n käyttöhenkilökunnan koulutus alkoi vuonna 1975 OL1:n käyttöhenkilökunnan ydinteknisellä peruskoulutuksella. Koulutus toteutettiin yhteistyössä laitostoimittajan ja alihankkijoiden kanssa. Tammikuussa 1976 aloitettiin Västeråsissa BWR –kurssi, joka kesti juhannukseen saakka. Laitoskoulutus pidettiin ruotsinkielisenä. Västeråsissa aika oli käyttöhenkilökunnalle arvokasta myös siksi, että siellä henkilökunta oppi tuntemaan toisensa ja toimimaan yhdessä. Kesälomien jälkeen koulutus jatkui Ruotsin käynnissä olevilla laitoksilla.

OL1 ja OL2 laitoshankkeissa käyttöhenkilökunta toimi erillään rakentamisorgani-

saatiosta. Laitostoimittajan kanssa oli sovittu, että käyttöhenkilökunta on toimittajan käytettävissä laitoksen käyttöönoton aikana.

ASEA Atom osallistui toimitussopimuksen mukaisesti laitoksen käyttöluopamateriaalin tekoon, vastasi käyttöönoton suunnittelusta, käyttöönotosta ja käyttödokumentaation laadinnasta, kuitenkin siten, että TVOn koulutettavana oleva käyttöhenkilökunta oli keskeisesti mukana näissä tehtävissä. He suorittivat mm. mittavat käännöstyöt.

TVO:n henkilökunta perehtyi Ruotsin käynnissä ja rakenteilla oleviin laitoksiin ja niiden käyttöönottoon ja valmistautui perusteellisesti ASEA Atomin johdolla ja vastuulla tapahtuvaan käyttöönottoon. Käytöstä siirtyi aikanaan saumattomasti ASEA Atomilta TVO:lle käyttöä muuttamatta. Ottamalla opikseen ruotsalaisten laitosten käyttöönoton ongelmista saattoi TVO välttää virheitä. Tämä loi myös pohjaa tulevien vuosien yhteistyölle ruotsalaisten ydinvoimalaitosten kanssa.

TVO:n henkilökunnan simulaattorikoulutus alkoi syksyllä 1977. Simulaattorilla ajettiin Barsebäckin laitosta TVO:n käytörutiineilla. Myös käytön johto osallistui koulutukseen, joka hoidettiin Studsvikissa aina oman simulaattorin hankintaan eli vuoteen 1989 saakka.

Yhteistyö jatkuu

ASEA Atom toimitti Olkiluodon laitosten alkulatauksen ja polttoaineen takuuajana. Polttoainetoimitukset Västeråsissa tehtaalta ovat jatkuneet näihin päiviin, vaikka osa polttoainesta tilataan nykyisin muilta toimittajilta.

TVO:n ja ASEA Atomin Ruotsiin toimittamien laitosten yhteistyö on jatkunut monilla alueilla. TVO:n ja ruotsalaisten ydinvoimalaitosten edustajilla on lukuisia yhteistyöryhmiä laitosten käytön, ydinturvallisuuden ja tutkimuksen alueilla.

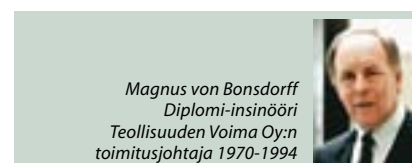
Esimerkkeinä voidaan mainita Nordisk Owners Group (NOG), joka teettää selvityksiä ajankohtaisista turvallisuus- ja ympäristökysymyksistä, luotettavuustekniikan

pohjoismainen yhteistyöryhmä (NPSAG), sekä laitosten käyttökokemusten vaihtoon keskittyvä Erfatom. Myös laitosten ydinjätehuollon ja käytetyn polttoaineen loppusijoituksen alalla yhteistyö on laajaa. Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen alueella yhteistyötä ovat tehneet 1970-luvulta alkaen TVO ja myöhemmin Posiva Oy sekä vastaava ruotsalainen Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB. Tämä on luonnollista, sillä perustuuhan Suomen ja Ruotsin valitsema käytetyn polttoaineen loppusijoitusmenetelmä samaan konseptiin.

On valitettavasti todettava, että aluksi tiiviit henkilökohtaiset ja ammatilliset yhteydet TVO:n ja ruotsalaisten ydinvoimalaitosten välillä ovat viime vuosina vähentyneet. Olisi suotavaa, että ne elvytettäisiin uudelleen, koska niiden kautta tapahtuva teknisen tiedon ja käyttökokemusten vaihto ovat osoittautuneet keskeiseksi tekijäksi maidemme ydinvoimalaitosten korkean ydinturvallisuuden ja luotettavuuden saavuttamiseksi. Ydinvoimateollisuuden kansainvälinen yhteistyöjärjestö World Association of Nuclear Operators WANO tarjoaa, neuvonta- ja tarkastustoiminnan lisäksi, mm. arvokasta tietojen vaihtoa ja johtajakoulutusta, jota sekä suomalaiset että ruotsalaiset ydinvoiman tuottajat ovat käyttäneet hyväkseen suorastaan kiusallisen vähän.

ASEA Atomilla oli merkittävä rooli myös Olkiluodon laitosten tehonkorotuksissa. ASEA Atom on myös ollut mukana uusissa laitoshankkeissa, vaikka OL3:sta lopullista tarjousta ei Ruotsista jätettykään. Westinghousen omistuksesta yhtiö on sittemmin siirtynyt Japanilaisen Toshiba omistukseen.

Nähtäväksi jää, millä tavoin tämä uusi yhtiö tulee olemaan mukana maamme tulevissa ydinvoimalaitoshankkeissa.



Tulipalo Olkiluodossa ylikuumenneilla rakennusmarkkinoilla



Olkiluoto 1:n reaktorirakennuksessa 8.2.1976 tapahtuneen tulipalon jälkiä. Vaurioitunutta betonia jouduttiin korjaamaan noin hehtarin alueelta.

TVO:n yhtiöpalveluosaston vanhempi asiantuntija **Mauri Toivainen** työskenteli Olkiluodon laitosten rakennusvaiheessa TVO:n työmaavalvojana. Asea-Atomin -avaimet käteen toimitukseen sisältyi myös laitoksen rakennustyöt. Varsinaisesta rakennusvalvonnasta vastasi Ekono Asea-Atomin toimeksiannosta.

Olkiluoto 1:n rakennusaikaan rakennusmarkkinat olivat Suomessa ylikuumenneet. Rakennushanketta sävyttivät lukuisat lakot ja ongelmat työvoiman saannissa. Mauri Toivanen kertoo "Työvoimatoimiston oven edessä oli aamuisin jono 'olkihattuisia' miehiä. Osa pysyi töissä vain yhden päivän."

VUODEN 1975 helmikuun 8 päivän vastainen yö oli hankkeen toteuttamisen kannalta kohtalokas. Suojarakennuksessa olivat alkamassa betonivalun (valuosa 23) korjaustyöt ja valua lämmittänyt lämpöpuhallin syytti valua ympäröivän suojapeitteen palamaan. "Heräsin yöllä Asea-Atomin rakennuspäällikön **Ulf Traneuksen** soittoon. Tilasin taksin ja auton saapuessa asunnolleni alkoivat silloisen kotipaikkani Luvian palosireenit soida. Etelästä näkyi savua", Toivanen kertoo.

"Palopaikalle saavuttuani kiipesimme palopäällikön kanssa porraskäytävää + 14 tasolle. Meteli oli valtava ovien paukuessa ja kaasupullojen räjähdellessä. Turbiinista reaktorirakennukseen johta-

van höyrykuilun puolimetrisistä läpivienneistä näkyivät hitsausliekin tavoin palavat soihdut", Toivanen toteaa.

Olkiluoto 1:n rakennustyömaalla tulipalo oli aikansa suurin. Palon vahingot nousivat 44 milj. markkaan. Mauri Toivaisen mukaan palovahinkoihin varautuminen ei vastannut nykypäivän tasoa: "Rakennustöiden aikainen palo-osastointi ei ollut esillä samaan tapaan kuin nykyisin. Lisäksi käytettiin puisia rakennustelineitä, jotka ovat luonnollisesti hyvää palomateriaalia. Vaarana oli, että palo olisi levinnyt myös turbiinirakennukseen. Paikalle saapuneiden 17 palokunnan ripeä toiminta kuitenkin esti palon leviämisen ja rajoitti vahingot."

TULIPALON JÄLKEEN käynnistettiin laajat selvitykset, jota varten perustettiin myös asiantuntijaryhmä. Korjaustyöt alkoivat raivaustöiden jälkeen maaliskuussa ja lokakuussa oli pääosa korjaustöistä tehty. Lopullinen siunaus korjaustöille saatiin 28.1.1977, kun asiantuntijaryhmä suositteli viranomaisille korjaustyön hyväksymistä. "Tulipalon seurauksena poistettiin vaurioitunutta betonipintaa noin hehtaarin alueelta. Työ tehtiin vanhanaikaisilla piikkausvasaroilla ja se oli äärimmäisen raskasta. Työ oli raskasta myös henkisesti. Raavaitten rakennusmiesten usko oli loppua telineillä betonia piika- tessa ", muistelee Toivanen.

Olkiluoto 1 ja 2 laitosyksiköiden rakentaminen eteni vaikeuksista huolimatta ripeästi. "Olkiluodon ydinvoimalaitosyksiköiden rakentaminen oli värikästä aikaa. Rakennustyöt kuitenkin etenivät. Hanka- luuksista selvittiin ja Olkiluotoon saatiin turvalliset ja taloudelliset laitosyksiköt", Toivanen toteaa lopuksi.

Jari Tuunanen



Vuonna 1994 ydinenergialakia muutettiin siten, että käytetyn ydinpolttoaineen kuljetus Venäjälle tuli mahdolliseksi. Viimeinen kuljetus Loviisasta tapahtui vuonna 1996. Kun Loviisan voimalaitos hankittiin, ajateltiin että käytetty polttoaine on arvotavaraa ja Neuvostoliitto vain lainasi polttoaineen Loviisaan. Nyt ollaan jälleen miettimässä uusia polttoainekierron menetelmiä. Lähde: IVO/Fortum

Suomen ydinenergiainsäädäntö täyttää 50 vuotta ja voi hyvin

Vuonna 1957 Suomi sai oman atomienergialakinsa. Tänä vuonna siitä on tullut kuluneeksi tasan 50 vuotta ja aivan kuin sen kunniaksi voimassaolevaa ydinenergialakia hieman hiotaan. Nykyinen ydinenergi laki tuli voimaan vuonna 1988. Nyt sitä saatetaan nykyisen perustuslakimme vaatimusten mukaiseksi. Hallituksen esitys on tarkoitus antaa eduskunnan käsittelyyn jo tänä syksynä. 50 vuoden aikana Suomessa on otettu käyttöön viisi reaktoria ja kehitetty kokonainen infrastruktuuri ja osaaminen atomienergia- ja ydinenergiain myötä.

Kesällä 1956 valmistui Suomessa energiakomitean mietintö. Sen lähtökohtana oli Suomen energiatalous, mutta eräänä olennaisena kohtana maan suhtautuminen uuteen mahdollisuuteen, atomienergiaan. Presidentti **Eisenhowerin** "Atoms for Peace" -puheesta 8.12.1953 oli vain kolme vuotta ja Suomesakin oli herännyt hillitty ydinenergiainnostus.

Energiakomitean puheenjohtaja, myöhempi akateemikko **Erkki Laurila** on aina painottanut tätä ja tarina kertoo, että hän myös halusi, että komitean nimi on energiakomitea eikä esimerkiksi atomienergiakomitea. Tässä akateemikko viitoitti myös Suomen tietä, joka merkitsi atomivoiman olevan normaalia teollista toimintaa osana suomalaista energiataloutta.

Energiakomitean mietintö ei vastoin tavallista tapaa päätynyt laki- tai asetusedotuksiin. Kuitenkin jo syyskuussa 1955 oli hallitus jättänyt esityksen eräänlaisek-

si viisiosaiseksi atomilainaksi, mutta se ajautui vaikeuksiin ja vedettiin myöhemmin pois maaliskuussa 1957. Samana syksynä annettiin uusi esitys ja siitä sitten tuli nopeasti uusi atomienergi laki.

Tämä laki sisälsi vain vähän siitä, mitä tänä päivänä luemme myöhemmästä ydinenergi laista. Esimerkiksi ydinvoimalaitoksesta päätti kauppa- ja teollisuusministeriö, jonka oli myönnettävä rakentamislupa, jos laissa esitetyt edellytykset täytyivät. Tällöin perustettiin myös atomienergianeuvottelukunta, joka sai myöhemmin suuret taloudelliset mahdollisuudet luoda Suomeen osaamista ja infrastruktuuria.

Nykyiset laitokset rakennettiin atomienergiain alla

Atomienergiain mukaan rakennettiin siten tutkimusreaktori ja neljä ydinvoimalaitosyksikköä. Vasta kun yhteiskuntakriittinen keskustelu 1970-luvulla ulottautui

myös ydinvoima-alalle, alkoi näyttää selvältä, että varsinkin ydinlaitosten rakentamiseen liittyvät säännökset oli uudistettava. Akateemikko Erkki Laurila oli jälleen eräs käynnistäväistä voimista.

Toimikunta uudistamaan atomienergialakia nimettiin vuonna 1977 hallintoneuvos, sittemmin oikeusministeriön kansliapäällikkö **Raimo Pekkasen** puheenjohtolalla. Myöhemmin työtä vielä jatkettiin toisessa ydinenergialakitoimikunnassa tunnetun veroprofessori **Kari S. Tikan** johdolla, jolloin valmisteltiin pääasiassa määräykset ydinjätehuollon järjestämiseksi.

Uusi ydinenergi laki syntyi kymmenen vuoden väännön jälkeen, sillä se säädettiin eduskunnassa vuonna 1987 ja tuli voimaan vuoden 1988 alussa.

Sen keskeisiä pilareita ovat päätöksenteon ja luvituksen selkeyttäminen ydinlaitoshankkeita koskevan periaatepäätöksen (PAP) myötä, yhteiskunnan kokonaisedun käsite, Säteilyturvakeskuksen keskeisen aseman riippumattomana turvallisuusviranomaisena säätäminen, kuntien ja kansalaisten vaikutusmahdollisuuksien lisääminen, eduskunnan rooli päätöksenteon viimeisenä lenkinä ja ydinturvallisuuden määrittäminen uudella tavalla.

Periaatepäätös on selkeästi poliittinen päätös. Sen tekee valtioneuvosto, mutta ylimpänä päättäjänä toimii eduskunta, sillä sen on hyväksyttävä tai hylättävä PAP.

Ratifiointimenettelyssä eduskunta ei saa muuttaa itse periaatepäätöstä, mutta käytännössä erilaiset lausumat ovat kyllä viihdyneet PAPpien kyljessä. Valtioneuvoston periaatepäätöksestä ei ydinenergi lain mukaan voi valittaa, koska lopullisen päätöksen tekee eduskunta, ydinvoimapäätöksessä poikkeuksellisessa roolissa hallintoviranomaisena.

Ydinenergi lakiin tuli myös aivan uusi yhteiskunnan kokonaisedun käsite. Tällä käsitteellä on haluttu korostaa, ettei kysymys ole laillisuusharkinnasta, vaan tarkoituksenmukaisuusharkinnalla eli poliittisella harkinnalla ratkaistavasta asiasta. Päättäjän tuleekin yhteiskunnan kokonaisedun harkitessaan ottaa huomioon kaikki ydin-

laitoksen rakentamisesta aiheutuvat hyödyt ja haitat.

Kansalaisten osallistumismahdollisuudet hyvät

Periaatepäätös edellyttää, että ydinlaitoksen aiottu sijaintikunta puoltaa laitoksen rakentamista (YEL 14 §). Kunta voi siten estää ydinlaitoksen rakentamisen alueelleen. Tämä ehdoton veto-oikeus on eräs ydinenergi lain uudistuksista.

Julkista kuulemista ja kansalaisten osallistumismahdollisuuksia parannettiin uuden lain myötä, mutta nykyiset muotonsa ne saivat vasta ympäristövaikutusten arvioinnin myötä. Århusin sopimuksen voimaantulon myötä ydinenergi lain muutoksella näitä osallistumismahdollisuuksia lavennettiin edelleen siten, että esimerkiksi tietyillä rekisteröidyillä järjestöillä on valitusoikeus ydinlaitoksen rakentamista koskevasta valtioneuvoston lupapäätöksestä.

Ydinenergi lain 6 §:n mukaan ”ydinenergian käytön on oltava turvallista eikä siitä saa aiheutua vahinkoa ihmisille, ympäristölle tai omaisuudelle.” Raimo Pekkasen mukaan (ATS Ydintekniikka 3/91) tämä pykälä johtaisi tiukasti tulkiten siihen, ettei lupaa ydinlaitoksen rakentamiseen voitaisi lainkaan myöntää, koska vahingon vaaraa ei voida koskaan täysin poistaa. Käytännössä ydinenergian käytön on katsottu olevan turvallista, jos on ryhdytty tarvittaviin varotoimiin vaaran vähentämiseksi käytännön näkökulmasta riittävän vähäiseksi (ns. ALARA-periaate, As Low As Reasonably Achievable).

Tänä syksynä eduskunnalle annettavassa hallituksen esityksessä ehdotetaan tietyt ydinturvallisuutta koskevat säännökset koottavan uuteen lukuun, mutta turvallisuutta koskeva yleinen periaate lain kuudennessa pykälässä pysyy entisellään. Muuten, tarina kertoo sen olleen asian vatvomiseen kyllästyneen aamu-areän ministeri **Pekka Vennamon** ehdotus sanasta sanaan.

Maailmassa ainutlaatuinen toimi oli ydinjätehuoltoon varautuminen, joka ydinenergi alaisissa järjestettiin aivan uudella ta-

valla. Rahat todella kerätään sitä mukaa kuin polttoainetta ja muita ydinjätteitä kertyy. Vuonna 1988 perustettiin kauppa- ja teollisuusministeriön yhteyteen Valtion ydinjätehuoltorahasto, joka hoitaa asian käytännön puolen ja tänä päivänä siellä on säilöttynä noin 1,6 miljardia euroa ja lisää kerätään vuosittain ydinsähkön hinnassa.

Toinen tarina kertoo, että ruotsalaiset tulivat tutustumaan ydinenergi lain kehitystyöhön Suomeen ja matkustivat sitten kotiin Ruotsiin, jossa nopeasti pistivät pystyyn saman ydinjätessysteemin jopa ennen suomalaisia. Hyvin on tämä asia edistynyt lahden molemmin puolin.

Miten ydinenergi laki on toiminut?

Yhteiskunnan kokonaisedun on testattu vuosina 1993, 2001 ja 2002. Eduskunta on kaksi kertaa hyväksynyt valtioneuvoston periaatepäätöksen ja kerran vuonna 1993 hylännyt. Molemmat FIN5-äänestykset on ratkaistu pienen enemmistön turvin, mutta käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitoksen ratifiointi tapahtui selvin numeroin vuonna 2001.

Periaatepäätösprosessit ovat eläneet myös aina jatkuvan ydinvoimakeskustelun myötä, itse keskustelua elävöittäen. Voidaan sanoa, että päätökset heijastavat maailmalla ja erityisesti Suomessa tapahtunutta kehitystä energiakysymyksissä, mutta silloinhan on mahdollisesti tarkasteltu juuri oikeaa suuretta, yhteiskunnan kokonaisedun. Median merkitys yleisen mielipiteen heijastajana, jopa joskus muotoajana on ollut suuri.

Prosessin myötä on käyty YVAa, ympäristövaikutusten arviointiprosessia vuonna 1994 annetun YVA-lain mukaisesti. YVA ei Suomessa ole periaatteessa osa luvitusta, mutta koska YVA-selostus on liitettävä periaatepäätöshakemukseen, on se käytännössä ainakin luvituksen esivaihe.

Kokemusten myötä voidaan väittää, että nämä rinnakkaislait (YEL ja YVA-laki) ovat eläneet yhdessä onnistuneesti. On väistämätöntä, että jonkun mielestä tällöin syntyy myös päällekkäisyyksiä, erityisesti kan-



Ydinenergilain 13 §:n mukainen yleisötilaisuus on käynnissä Loviisan liikuntahallissa lokakuussa 1991. Puhujapöytä on Vihreän liiton puheenjohtaja (1987–1991) Heidi Hautala. Istumassa ovat oikealta tilaisuuden puheenjohtaja, hallitusneuvos Yrjö Sahrakorpi ja ylitarkastaja Sakari Immonen, molemmat kauppa- ja teollisuusministeriöstä, sekä apulaisjohtaja Hannu Koponen Säteilyturvakeskuksesta.

Kankaalla on kirjoittajan myöhempi päivämäärämerkintä. Tämä periaatepäätösprosessi loppui syksyllä 1993 eduskunnan hylättyä valtioneuvoston helmikuussa samana vuonna tekemän periaatepäätöksen.

salaisosallistumisessa, mutta toisaalta voidaan todeta, että YVAN ja PAPin näkökulmat poikkeavat toisistaan ja siksi peräkkäiset kuulemiset ovat tarpeen ja hyödyllisiä.

Ydinenergilakia on toki uudistettu useita kertoja. Ehkä merkittävin uudistus oli ydinenergilakiin joulukuussa 1994 tullut ydinjätteen vieni- ja tuontikielto, joka tuli voimaan asetuksella vuonna 1996. 1990-luvun alussa heräsi keskustelu Imatran Voiman Oy:n Loviisan voimalaitoksen käytetyn polttoaineen viennistä Neuvostoliittoon.

Vasta vuosikymmenen vaihteessa oli saatu tietää, että Loviisan käytetty polttoaine jälleenkäsitellään Tsheljabinskissä, jossa oli myös esimerkiksi tuotettu plutoniumia Neuvostoliiton ydinaseisiin. Ja vasta ATS:n Neuvostoliiton ekskursiolla vuonna 1991 pääsi ensimmäinen suomalainen ryhmä tutustumaan polttoaineen jälleenkäsittelylaitokseen Uralin takana.

Oli kuitenkin selvää, että ydinvoiman käytön hyväksyttävyydelle vieni Tsheljabinskiin oli rasite. Vuonna 1994 tuli siten voimaan ydinenergilain muutos, jolla ydinjätteiden vieni ja tuonti kiellettiin. Viimeinen kuljetus Venäjälle tapahtui vuonna 1996. Ja jätteiden käsittely omassa maassa on ollut siitä lähtien olennainen osa suomalaista ydinenergilainsäädäntöä.

Käytetyn ydinpolttoaineen huoltoa varten TVO ja IVO perustivat Posivan vuonna

1995 ja periaatepäätös käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitoksesta tehtiin vuonna 2001. Loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemusta valtioneuvostolle odotetaan vuonna 2012 ja käytetyn polttoaineen loppusijoituksen suunnitellaan alkavan vuonna 2020.

Vuonna 2004 ydinenergilakia muutettiin siten, että voimayhtiöiltä kannetaan nykyisin vuosittain noin 3,7 miljoonaa euroa vuosittain ydinturvallisuustutkimukseen ja ydinjätetutkimukseen, että voimayhtiöiltä kannetaan nykyisin vuosittain noin 3,7 miljoonaa euroa ydinturvallisuus- ja ydinjätetutkimukseen. Varat kerätään Valtion ydinjätehuolto-rahastoon erillisrahastoihin, joista varoja myönnetään tutkimukseen vuosittain. Vuonna 2006 tehdyn kansainvälisen arvioinnin tulosten mukaan myös tämä muutos on saavuttanut alan toimijoiden hyväksynnän.

Uudet vaatimukset maailmalta muuttavat suomalaisia käytäntöjä

Ja toisaalta ydinvoimainvakuutuslaki, säteilyturvallisuuslainsäädäntö ja vaikkapa kaivoslaki jatkavat omia kehityskulkujaan ydinenergilain rinnalla. Nyt on käynnissä prosessi, jossa ydinenergilaki sovitetaan perustuslain mukaiseksi mm. nostamalla ydinturvallisuusmääräyksiä aiempaa enemmän

lain tasolle. Sen jälkeen vielä koko alempi säännöstö uudistetaan, mutta ydinenergilain keskeisiä periaatteita ei ole tarkoitus tällä kierroksella uudistaa.

On myös otettava huomioon, että EU ohjaa nykyistä energiatalouden sääntelyä yhä tiukemmin ja vaikka ydinenergia on tähän asti pysynyt direktiivitehtailun akanvirrassa, osoitti taannoinen ydinturvapaketti, ettei näin ole ikuisesti. IAEA ja muu kansainvälinen yhteistyö luonnollisesti ovat aina suomalaista ydinenergilainsäädäntöä taustalta ohjaavia tekijöitä.

Entä nyt? Onko kaikki valmista? Ei varmastikaan. Esimerkiksi periaatepäätökset ovat yksittäistapauksia. Raamit meillä on, mutta juuri nyt on kehkeytymässä haasteita, joissa ydinenergilakia edelleen punnitaan. Teollisuus on tehnyt tai tekevässä uusia aloitteita, joihin yhteiskunta reagoi juuri ydinenergilain antamin eväin. Ydinvoiman käyttö ei edelleenkään ole vailla riskejä, mutta yhteiskunnallinen hyväksyttävyyden voidaan omalta osaltaan taata jatkuvasti ajassa kehittyvällä lainsäädännöllä.

DI Jorma Aurela
Yli-insinööri
Kauppa- ja teollisuusministeriö
Energianosasto
jorma.aurela@ktm.fi



PAPin kyydissä

eli lyhyt katsaus ydinenergialain mukaisiin periaatepäätöksiin

Suomen ydinenergialainsäädäntöön suurella väännöllä luotua periaatepäätösmenettelyä, eli ydinenergia-slanguilla PAP-menettelyä, on tähän mennessä sovellettu viisi kertaa. Yhden käsittely jäi kesken, yhden eduskunta hylkäsi ja kolme päätöstä jäi voimaan eduskuntakäsittelyn jälkeen. Menettely on tullut ydinenergialainsäädäntöön jäädäkseen, ja sitä sovellettaneen jatkossa vielä useita kertoja.

1 1970–80-lukujen vaihteessa havahduttiin myös Suomessa siihen, että ydinvoima onkin poliittinen kysymys. Ihmeteltiin, kuinka oli ollut mahdollista hankkia ja ryhtyä rakentamaan jopa neljää reaktoria ilman kunnollista poliittista keskustelua ja demokraattista päätöksentekoa. Konsensus oli suuri – tämä peli ei enää jatkossa vetelisi.

Havahtumista edistivät kansainväliset vaikutteet, lähimpinä Ruotsissa **Torbjörn Fälldinin** vaalivoitto 1976 ydinvoimavastaisiin teemoin ja vuoden 1980 kansanäänestys. Myös kotimaassa valtiovetoinen suunnittelu oli voimissaan. Eihän voinut olla mahdollista, että energiayhtiöt saisivat kilpailla vapaasti ja villisti, kuten oli tapahtunut vielä 1970-luvun alussa yhtiöiden tehdessä ydinvoimapäätöksiä.

Ydinenergialakitoimikunta asetettiin 1970–80-lukujen vaihteessa laittamaan hyvin ylimalkainen atomienergialaki kokonaan uusiksi. Lakitoimikunnassa pohdittiin, millä keinoilla eduskunta saataisiin mukaan päätöksentekoon, ja se päättyi uusiin innovatiivisiin ratkaisuihin. Kehitettiin uusi käsite "yhteiskunnan kokonaisuus" ja uusi hankkeen käsittelymenettely "periaate-

päätös" ennen varsinaisen lupakäsittelyn alkamista.

Ydinenergialaki säädettiin perustuslainsäätämisyjärjestyksessä kaksilla valtiopäivillä, koska eduskunnalle tuli siinä poikkeuksellisia tehtäviä. Vuonna 1987 valitun eduskunnan vahvistuksen jälkeen ydinenergialaki tuli voimaan maaliskuun alussa 1988.

Vuoden 1986 ponnistus jäi lähtökuoppiinsa

Jo 1980-luvun alussa voimayhtiöt olivat kokeneet, että uuden ydinvoimalaitoksen hankinta on mittava yhteiskunnallinen ponnistus, joka vaatii yhteistyötä. Vuoden 1986 alussa toteutusmahdollisuudet näyttivät niin suotuisilta, että helmikuussa 1986 Imatran Voima Oy (IVO) ja Teollisuuden Voima Oy (TVO) perustivat uuden yhtiön Perusvoima Oy:n (PEVO). Maaliskuussa 1986 PEVO jätti PAP-hakemuksen, joka oli laadittu uuden, vielä maaliskuun 1987 eduskuntavaalien jälkeistä käsittelyä odottavan ydinenergialain mukaan.

PEVOn PAP-hakemus käsitti noin 1000 MW ydinsähkötehoa joko yhtenä tai kahdena laitossyöksikkönä sijaintipaikkana Loviisa tai Olkiluoto. Hakemus tukeutui omista-

jayhtiöiden laitospaikkoihin ja asiantunteemukseen. Hakemuksessa esitettiin toteutettavaksi jokin markkinoilla oleva kevytesilaitos.

Huhtikuussa 1986 tapahtuneen Tshernobylin onnettomuuden jälkeen hakemuksen käsittely keskeytettiin hakijan pyynnöstä. Toukokuussa 1991 PEVO perui hakemuksensa lopullisesti, kun IVO ja TVO jättivät uuden periaatepäätöshakemuksen.

Ensimmäinen tosi koetus palautti lähtöruutuun

Tshernobylin onnettomuuden jälkeinen hallitus ja eduskunta olivat jo heti alkuun ilmoittaneet, että niiden toimiaikana ei tehdä päätöksiä uudesta ydinvoimasta.

Yhteistyötään jatkaneet IVO ja TVO päättivätkin lähteä liikkeelle vasta vuoden 1991 eduskuntavaalien jälkeen, ja ne jättivät PAP-hakemuksen valtioneuvostolle 17.5.1991.

Hakemuksen kohteena oli yhtiöiden yhteistyönä toteutettavan uuden laitossyöksikön rakentaminen joko Loviisaan tai Eurajoelle.

Käytetyn ydinpolttoaineen huollon vaihtoehtoiksi esitettiin kotimaista loppusijoi-



tusta, mikä edellytti välivarastointia laitospaikalla, lopullista lähettämistä ulkomaille tai lähettämistä jälleenkäsiteltäväksi ulkomaille, jolloin olisi kuitenkin varauduttava jälleenkäsittelyjätteen palautukseen sekä mahdolliseen välivarastointiin ja loppusijoitukseen Suomessa.

Hakemuksessa esitettiin soveltuvuusselvityksin tutkituiksi useita paine- ja kiehusvesilaitosvaihtoehtoja sähköteholtaan 1000–1400 MW. Hakijat ilmoittivat myös, että laitostoimittajien välillä oli tarkoitus käydä tarjouskilpailu samanaikaisesti periaatepäätöshakemuksen käsittelyn kanssa siten, että hakijayhtiöillä olisi ollut valmius laitosvaihtoehdon valintaan vuosien 1991–92 vaihteessa. Yhtiöt pyysivätkin tarjouksia heti hakemuksen jättämisen jälkeen toukokuussa 1991.

Jahkailua kaasulla

Periaatepäätöksen käsittely ei sujunut hakemuksessa toivotulla vauhdilla. Kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) pyytämät lausunnot ja mielipiteet saatiin vuoden 1991 aikana, mutta valtioneuvosto vaati lisäselvityksiä. Erilaiset "kaasukortit" piti vielä katsoa moneen kertaan.

Ennen varsinaista periaatepäätöksen käsittelyä valtioneuvosto toimitti eduskunnalle energiastrategian. Sen käsittelyn yhteydessä eduskunta yllättäen marraskuun 1992 alussa hyväksyi ydinvoimakielteen ponnin valmistelematta ja ennen kuin PAP-hakemusta oli edes esitetty eduskunnalle. Ponsi nimettiin puuhamiehensä mukaisesti Vanhasen ponneksi.

Monet pitivät PAP-hakemusta jo hylätynä ja PEVO supisti toimintaansa merkittävästi. Virallisesti toivoa pidettiin kuitenkin vielä yllä ja lobbaus oli kovaa puolien ja toisin. Niinpä valtioneuvosto teki 25.2.1993 myönteisen periaatepäätöksen, mutta eduskunnassa asetelmat säilyivät entisellään ja eduskunta hylkäsi päätöksen 24.9.1993 äänin 107–90. Laitosyksikköä koskevat tarjoukset raukesivat.

Ensimmäinen varsinaisen PAP-käsittely toi esille piirteitä, jotka eivät ainakaan korostetusti olleet esillä ydinenergialakia sää-

detäessä. Todellinen käsittely- ja päätösvalta oli valtioneuvoston sijasta eduskunnalla ja vielä siten, että puolueet olivat antaneet kullekin kansanedustajalle vapaat kädet. Ilmeisesti kansanedustajat muodostivat kantansa merkittävältä osin muista lähtökohdista kuin ydinenergiain mukaisen seikkaperäisen hakemus- ja valmisteluaineiston perusteella, mikä toki oli aivan heidän valittavissaan.

Uutta tulemistä valmisteltiin

Teollisuuden piirissä odotettiin ja kerättiin voimia yhden eduskuntakauden ajan. Liittyminen EU:hun ja lainsäädännön kehitys muuttivat myös reunaehdot. Ainoastaan kotimaiset ratkaisut ydinjätteiden käsittelyyn, varastointiin ja loppusijoitukseen olivat hyväksytyt vuoden 1994 lopussa voimaan tulleen ydinenergiain muutoksen jälkeen.

Muutoksen johdosta IVO ja TVO perustivat Posiva Oy:n huolehtimaan Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten käytetyn polttoaineen loppusijoituksesta. Posivan perustaminen merkitsi myös, että Posiva hakee erikseen periaatepäätöstä ja tarvittavia lupia IVO:n ja TVO:n käytetyn polttoaineen loppusijoitukselle.

Toinen merkittävä muutos oli ympäristövaikutusten (YVA) arviointia koskevan lainsäädännön voimaantulo 1990-luvun puolivälissä. Sen seurauksena uudelle ydinlaitoshankkeelle on tehtävä ensin kaksivaiheinen YVA-menettely (ohjelma- ja selostusvaiheet). Muutoksen jälkeen uusi ydinlaitoshanke alkaa YVA-menettelyllä, jonka tulokset sisältävä YVA-selostus on liitettävä PAP-hakemukseen.

Posivan PAP avasi tietä

Valtioneuvoston vuonna 1983 tekemässä periaatepäätöksessä esitetyn aikataulun ja KTM:n päätösten perusteella käytetyn polttoaineen loppusijoituspaikka tuli valita vuoden 2000 loppuun mennessä.

Posiva oli päättänyt yhdistää paikanvalinnan PAP-menettelyyn. Niinpä Posiva jätti 26.5.1999 valtioneuvostolle käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituslaitoksen PAP-

hakemuksen. Hakemuksessa oli vain yksi sijoituspaikka, Eurajoen Olkiluoto, ja käytetyn polttoaineen määrä oli sijaintipaikalle suoritettuna YVA-menettelyn mukaisesti 9000 tU.

Posivan PAP-hakemuksesta annettiin lausunnot vuoden 1999 lopussa ja vuoden 2000 alkupuolella, viimeisinä Säteilyturvakeskuksen ja Eurajoen kunnan myönteiset lausunnot. Tähän asti oli vallalla ollut käsitys, että PAP-menettely vaiheineen ei ollut valituskelpoinen. Kuitenkin Eurajoen kunnan valtuuston myönteisestä päätöksestä valitettiin. Turun hallinto-oikeus katsoi päätöksen valituskelpoiseksi, mutta hylkäsi siten valituksen. Valittaja vei asian edelleen korkeimpaan hallinto-oikeuteen (KHO), joka myös hylkäsi valituksen. Vasta tämän jälkeen loppuvuonna 2000 Eurajoen valtuuston lausunto tuli sitten lainvoimaiseksi ja valtioneuvoston käsittely saattoi jatkuu.

Posivan PAP-hakemuksen käsittelyn aikana myös uusi ydinvoimalaitoshanke eteni. Posivan oli tarkistettava hakemustaan käsittelyn etenemiseksi. Posiva täsmensikin kirjessään 23.11.2000 hakemuksensa tilanteen mukaiseksi.

Valtioneuvosto ratkaisi 21.12.2000 tekevänsä periaatepäätöksellä Posivan hakemuksen siltä osin kuin se koski loppusijoituslaitoksen rakentamista sille käytetylle ydinpolttoaineelle, joka syntyy Suomen nykyisten neljän ydinvoimalaitosyksikön toiminnasta, enintään 4000 tU. Eduskunta jätti 18.5.2001 periaatepäätöksen voimaan. Näin oli ensimmäisen kerran ydinenergiain historiassa saatu PAP-prosessi myönteiseen päätökseen.

Olkiluoto-3 putkeen

Maaliskuun 1999 eduskuntavaalien jälkeistä hallitusta ja eduskuntaa odotettiin toiveikkaasti mahdollisen periaatepäätöksen myöntäjänä, ja TVO olikin käynnistänyt vuoden 1998 alussa Olkiluotoa ja vastaavasti IVO huhtikuussa 1998 Loviisaa koskevan uuden voimalaitoksen YVA-menettelyn.

TVO ja Fortum, joka oli IVO:n toiminnan jatkaja ja TVO:n osakas, sopivat vuo-

den 2000 alussa, että TVO toteuttaa uuden hankkeen ja hakee sille luvat. Sijoituspaikoina voisivat kuitenkin olla joko Olkiluoto tai Loviisa. Tavoitteena oli yksi hanke, jolle pystyttiin saamaan yhteiskunnan mahdollisimman laaja tuki.

Valmistelujen jälkeen TVO jätti 15.11.2000 periaatepäätöshakemuksen nettosähköteholtaan 1000–1600 MW suuruista kevytvesireaktorilla varustetusta ydinvoimalaitosyksiköstä, joka oli tarkoitus sijoittaa Loviisan tai Olkiluodon voimalaitospaikalle.

KTM sai päätöksestä lausunnot keväällä 2001. Eurajoen kunnanvaltuuston 19.3.2001 antamasta puoltavasta lausunnosta valitettiin Turun hallinto-oikeuteen ja myöhemmin KHO:een, ja valtuuston päätös saavutti lainvoiman valitusten käsitteilyn jälkeen 21.12.2001.

Valmistelun jälkeen valtioneuvosto teki 17.1.2002 periaatepäätöksen, jonka mukaan uuden ydinvoimalaitosyksikön rakentaminen on yhteiskunnan kokonaisedun mukaista.

Samalla valtioneuvosto päätti 17.1.2002, että Olkiluotoon rakennettavan loppusijoituslaitoksen rakentaminen laajennettuna Olkiluoto-3:n käytettyä polttoainetta varten on myös yhteiskunnan kokonaisedun mukaista. Eduskunta jätti Olki-

luoto-3:sta koskevan periaatepäätöksen voimaan 24.5.2002 äänin 107–92 ja vahvasti erikseen laajennettua loppusijoituslaitosta koskevan periaatepäätöksen.

Miksi TVO ja Posiva onnistuivat?

Kysymystä, miksi 2000-luvun alussa onnistuttiin siinä, mitä oli yritetty aina 1980-luvulta lähtien onnistumatta, on varmaan mietitty ja selitetty paljon sekä ydinvoimayhteisössä että ulkopuolella. Myös ulkomaalaiset yhtiöt, organisaatiot ja henkilöt ovat käyneet kyselemässä ja saaneet jonkinlaisia vastauksia. Kirjoja on kirjoitettu ja esitelmää pidetty.

Kysymykseen ei varmastikaan ole antaa kaiken kattavaa vastausta. Useista mielipiteistä on kuitenkin noussut esille yksi tekijä. Käytetyn polttoaineen loppusijoitus suunnitelmien eteneminen myönteiseen PAPIin ja loppusijoituspaikan valinta olivat keskeisiä edellytyksiä uuden ydinvoimalaitosyksikön myönteiselle PAPIlle.

Tulevaisuus vakaalla pohjalla

Tähänastisen kokemuksen perusteella hyväksytyt periaatepäätökset ovat muodostaneet todella tukevan pohjan hankkeiden jatkamiselle. Sekä Posiva että TVO ovat

päässeet hankkeissaan eteenpäin ilman, että hankkeiden yhteiskunnallista hyväksymistä olisi enää asetettu kyseenalaiseksi. Jatkossa onkin tärkeää säilyttää sekä uuden ydinvoiman että ydinjätteiden loppusijoituksen yhteiskunnallinen hyväksyntä niin, ettei sitä ainakaan alan yhtiöiden toimenpiteiden vuoksi heikennetä.

Pitemmän tähtäyksen kysymys koskee uuden ydinvoimalaitoksen lupaprosessin kestoa ennen varsinaiseen laitoshankintaan pääsemistä. Lainsäädännön kehittyessä ja kansainvälisten sopimusten määrän lisääntyessä eri vaiheita on jatkuvasti tullut lisää.

Ilmastonsuojelussa tarvitaan nyt nopeita toimenpiteitä kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamiseksi ja uusi ydinvoima on mukana keinovalikoimassa. Alkaisikohan jo olla niin, että yhteiskunnan kokonaisuus vaatisi ydinvoimalaitoshankkeen lupamenettelyn merkittävää nopeuttamista? ■

DI Heikki Raumolin
Senior Adviser
Fortum Power and Heat Oy
Generation Nuclear
heikki.raumolin@fortum.com



WSP FINLAND OY

www.wspgroup.fi

WSP Finland on suunnittelu-, tutkimus- ja konsultointipalveluja tarjoava yhtiö, joka toimii liikenteen, infrastruktuurin, ympäristön, arkkitehtuurin, sillanrakennuksen, talo- ja teollisuusrakentamisen sekä maa- pohja- ja kalliorakentamisen aloilla. Suomessa meitä on lähes 300 kuudella eri paikkakunnalla.

WSP Finland Oy on osa kansainvälistä WSP group konsernia jossa on maailmanlaajuisesti n. 8 000 työntekijää.

Ydinjätehuollon ohjelman alkuvaiheet

Ydinjätehuolto on kolmen osa-alueen kokonaisuus: käytetyn polttoaineen loppusijoitus, voimalaitosjätteen loppusijoitus ja ydinvoimaloiden käytöstäpoisto.



Eduskunnan PAP-äänestys 18.5.2001

Voimalaitosjätteen loppusijoitus alkoi Suomessa jo 1990-luvun alussa. Käytetyn polttoaineen loppusijoitus on maassamme edennyt jo niin pitkälle, että loppusijoituspaikka on valittu ja Posiva rakentaa ONKALO-tutkimustilaa Olkiluotoon. Voimalaitosten käytöstäpoisto ei ole ajankohtaista vielä vuosikymmeniinkin, mutta lain edellyttämät suunnitelmat ovat sitä varten olemassa. Tässä historiallisessa tarkastellaan ydinjätehuollon ohjelman alkuvaiheita nimen omaan käytetyn polttoaineen loppusijoituksen kannalta ja Teollisuuden Voiman (ja myöhemmin Posivan) näkökulmasta.

TVO:n käytetty polttoainee jää Suomeen

Käytetyn polttoaineen huolto on Suomessa ollut ajankohtaista yhtä kauan kuin sähköä on tuotettu ydinvoimalla. Ydinvoimalaitoksia hankittaessa oli alun pitäen tiedossa, että käytetylle ydinpolttoaineelle on tehtävä jotakin. 1970-luvun alussa uskottiin, että uraanivarat käyvät pian vähiin ja että ainoa järkevä vaihtoehto käytetylle polttoaineelle on sen jälleenkäsittely. Loviisan ykkösyksikköä hankittaessa 1960-luvun lopussa sovittiinkin samalla siitä, että käytetty polttoaine palautetaan Neuvosto-

liittoon. Se oli itse asiassa laitostoimittajan ehtokin; strategisesti tärkeä materiaali hallittiin pitää omassa kontrollissa.

Teollisuuden Voima ei ollut yhtä menestyksenkäs ostaessaan TVO I ja TVO II -laitosyksiköt Ruotsista, sillä laitostoimittaja ei ottanut vastaan käytettyä polttoainetta. TVO joutuikin selvittämään käytetyn polttoaineen huoltoa vuosikausia. Samalla valtakunnallinen kiinnostus kohdistui Olkiluodon ydinjätehuoltoon, koska Loviisan käytetyn polttoaineen huolto katsottiin ratkaistuksi. Pääosa Suomessa tehdystä, käytettyyn polttoaineeseen liittyvästä työstä tapahtui tässä vaiheessa TVO:n puitteissa.

TVO I-laitosyksikön rakennuslupahakemuksessa vuonna 1973 viitattiin jätteen käsittelyä koskevassa kohdassa Ruotsissa tapahtuvaan tutkimukseen ja vihjattiin samalla atomienergieneuvottelukunnan (AEN) piirissä mahdollisesti tehtävään tutkimukseen. AEN teettiikin selvityksiä vuosina 1974 ja 1975 kahdellakin työryhmällä, joista jälkimmäinen esitti harkittavaksi käytetyn polttoaineen huoltoon erikoistuvan valtion laitoksen tai vaihtoehtoisesti valtion ja voimayhtiöiden yhteisyrityksen perustamista. Konkreettisiin toimenpiteisiin ehdotus ei kuitenkaan johtanut.

TVO:n oli ratkaistava käytetyn polttoaineen huolto ainakin väliaikaisesti ennen TVO I:n käyttöluvan saamista. Koska Loviisan käytetty polttoaine oli määrä viedä Neuvostoliittoon, TVO tiedusteli sieltä samaa mahdollisuutta. Vastaus oli kielteinen: Neuvostoliitto hoitaa vain omien reaktoreidensa käytetyn polttoaineen. Neuvotteluja käytiin aika pitkään englantilaisranskalaisen United Reprocessors -yhtiön kanssa, mutta sen sanelemat kaupalliset ehdot osoittautuivat mahdottomiksi hyväksyä.

Tämän johdosta TVO esitti TVO I:n käyttöluvahakemuksessa vuonna 1977, että käytetty polttoaine varastoidaan toistaiseksi laitospaikalla. Samalla ehdotettiin valtakunnallisen jätehuolto-organisaation perustamista.

Valtiovalta ei suhtautunut kovin suopeasti siihen, että TVO:n käytetyn polttoaineen huolto oli ratkaisematta. Valtioneuvosto katsoi oikeaksi tehdä asiasta vuonna 1978 päätöksen, jonka mukaan ensisijaisena vaihtoehtona oli pidettävä käytetyn polttoaineen viemistä maasta pois. Säteilyturvallisuuslaitos totesi samoihin aikoihin, että TVO:n ehdottama vesiallasvarastointi on käyttökelpoinen väliaikaisratkaisu. Lopputulos tästä kaikesta oli, että TVO I (eli ny-



Avoimet ovat Kivetyn tutkimusalueella vuonna 1995. Timo Äikäs esittelee.

kyinen Olkiluoto 1) sai käyttöluvan vain viideksi vuodeksi, vuoden 1983 loppuun asti. Sama kohtalo oli TVO II:lla.

Jätehuolto-ohjelmaa puitteensa

VTT:n Reaktorilaboratorioon perustettiin ensimmäiseen varsinainen ydinjätetutkimusryhmä vuonna 1975. TVO:n oma jäteyöryhmä perustettiin vuonna 1975, ja se piti luonnollisesti yhteyksiä VTT:n tutkimusryhmään. TVO:n ensimmäinen ydinjättespesialisti oli **Veijo Ryhänen**, joka perehtyi käytetyn polttoaineen kysymyksiin polttoainetoimistossa vuodesta 1977 alkaen. Ydinjätetoimisto perustettiin TVO:hon projektivaiheen päätyttyä vuoden 1980 alussa päällikkönään **Heikki Raumolin**.

TVO ja Imatran Voima harrastivat tiivistä yhteistyötä ydinjäteasioissa. Voimayhtiöiden ydinjätetoimikunta perustettiin jo vuonna 1978. Voimayhtiöiden yhteisesti laatima ydinjätteselvitys julkaistiin samana vuonna. Siinä esitettiin korkea-aktiivisen jätteen loppusijoitus viitteenä ruotsalaisen laatima KBS-1-suunnitelma.

Valtioneuvosto kantoi jatkuvasti huolta Olkiluodon käytetystä polttoaineesta. Valtioneuvosto teki vuonna 1983 erittäin kauskantoisen periaatepäätöksen. Sen mu-

kaan ensisijaiseksi tavoitteeksi otettiin käytetyn polttoaineen ulkomaille vienti. Jos se ei onnistu, tulee edetä TVO:n esittämin tavoittein, ts. kotimaisen loppusijoituspaikan valinta vuonna 2000 ja loppusijoituksen aloittaminen vuonna 2020. Pian tämän jälkeen oli myös selvillä uuden, vuonna 1988 voimaantulleeseen ydinenergialain sisältö. Tarvitaan hallituksen periaatepäätös, joka on vielä eduskunnan ratifioitava, sekä sijaintikunnan hyväksyntä.

1980-luvun alussa TVO laati käytetyn polttoaineen suoralle loppusijoitukselle kokonaissuunnitelman, joka sisälsi paikan valinnan ja loppusijoituksen alkamisen omista suomalaisista lähtökohdista. Paikan valinnassa lähdetään koko maasta, edetään asteittain soveltavuusselvitykseen, tutkimusalueiden valintaan, alustaviin tutkimuksiin, täydentäviin tutkimuksiin, loppusijoituspaikan valintaan, rakentamislupavalmiuteen ja toiminnan käynnistämismalmiuteen. Paikan varmistamiseen liittyvät tutkimukset oli määrä tehdä maanalaista tiloista käsin.

Loppusijoituksen teknisen suunnittelun pohjaksi valittiin Ruotsissa keväällä 1983 julkaistu KBS-3-konsepti, jossa polttoainepiiput sijoitetaan kuparikapseliin ja nämä puolestaan bentoniitin ympäröiminä kal-

lioperään. Kapselin sisäosan materiaaliksi vakiintui valurauta vasta 1990-luvun loppupuolella. KBS-3:a voidaan pitää luonnollisena valintana, onhan "isäntäkallio" samanlaista molemmissa maissa.

Loppusijoituspaikka valitaan

Ensimmäinen etappi valitulla tiellä oli Lavian koerieän kairaus tutkimusmenetelmien testaamista varten vuonna 1984. Suomen kallioperä käytiin samanaikaisesti huolellisesti läpi: ensin valittiin 327 aluetta, sitten 162 aluetta, sitten 134 aluetta, ja lopuksi 101 aluetta vuonna 1985. Eikä valinta jäänyt tähän: vuonna 1986 karsittiin vielä osa näistä pois, jolloin jäljelle jäi 85 mahdollista aluetta, joista lopulta valittiin 5 aluetta alustavaan paikkatutkimukseen.

8.4.1987 oli merkittävä päivä. Tällöin julkistettiin valitut 5 aluetta: Hyrynsalmen Veitsivaara, Kuhmon Romuvaara, Sievin Kivijärvenkangas (sittemmin Syry), Konginkankaan (sittemmin Äänekosken) Kivetty ja Eurajoen Olkiluoto. Julkistaminen sai laajan näkyvyyden mediassa. TVO perusti paikallistoimistot kaikkiin tutkimuskuntiin. Näiden avulla yhteydenpito kuntiin ja kuntalaisiin oli varsin vilkasta. Tutkimusalueilla pidettiin avointen ovien päiviä, ja lisäksi



Tutkimuslaitteistoa Olkiluodossa: KR1:n poraus vuonna 1989.

kuntalaisille järjestettiin mahdollisuus vierailla Olkiluodossa.

Tutkimuspaikkoja karsittiin vuonna 1993, jolloin jäljelle jäivät Eurajoki, Kuhmo ja Konginkangas (eli Äänekoski).

Loviisa tuli mukaan Posivan perustamisen yhteydessä vuonna 1996. IVO oli jo edellisenä vuonna tehnyt paikalla alustavia selvityksiä.

Kaikille neljälle sijaintipaikalle suoritettiin ympäristövaikutusten arviointi vuosina 1997-1999. Sen ja paikkakohtaisen turvallisuusarvioinnin tulokset osoittivat, että kaikki sijoituspaikat ovat hyväksyttävää ympäristövaikutusten ja turvallisuuden kannalta.

Olkiluoto valittiin sijoituspaikaksi periaatepäätöshakemuksen jättämisen yhteydessä toukokuussa 1999. Olkiluotoa puolivat monet seikat, joista tärkeimmät olivat väljempi maa-alue, pienempi kuljetustarve ja väestön osoittama selkeä hyväksyntä hankkeelle.

Posiva aloittaa toimintansa

Posivan perustamisen voi katsoa alkaneen siitä, että vuoden 1994 ydinenergialain muutos kielsi käytetyn ydinpolttoaineen viennin ja tuonnin. Loviisa ei enää vuoden 1996 jälkeen voinut lähettää käytettyä polttoainetta Venäjälle. IVO:n kannalta paras ratkaisu oli liittyä TVO:n valmistelemaan polttoaineen loppusijoitushankkeeseen. Yhtiöiden välinen sopimus käytetyn ydinpolttoaineen huollosta allekirjoitettiin 18.5.1995. Posiva Oy:n perustamisasiakirja allekirjoitettiin 19.10.1995, jolloin myös pidettiin perustava yhtiökokous. Posiva Oy:n toiminta alkoi vuoden 1996 alussa.

Posivan tähänastinen toiminta voidaan jakaa kahteen vaiheeseen. Vuosituhannen vaihteeseen asti Posivan oli luotava edellytykset loppusijoitustoiminnan yhteiskunnalliselle hyväksynnälle. Tässä Posiva onnistui erinomaisesti: ydinenergialain edellyttämä periaatepäätös vahvistettiin eduskunnassa 18.5.2001.

Nyt Posivan työ on edennyt vaiheeseen, jossa haasteet ovat valtaosin teknisiä: on osoitettava, että loppusijoitus pystytään toteuttamaan suunnitelmien mukaisesti.

Suomen ydinvoimalaitosten ydinjätehuoltoa on toteutettu ja kehitetty suunnitelmallisesti ja pitkäjänteisesti. Asetetut tavoitteet on pystytty saavuttamaan sovitun aikataulun mukaisesti. Tämän seurauksena Suomesta on tullut yksi ydinjätehuollon toteutuksen edelläkävijöistä. Useissa maissa ydinjätehuollon ratkaisut ovat lykkäntyneet, eivät niinkään teknisistä kuin poliittisista syistä.

Siksi ei olekaan ihme, että Suomen ydinjätehuollon toteutusta pidetään kansainvälisesti esimerkillisenä.

Eero Patrakka
Toimitusjohtaja
Posiva Oy
eero.patrakka@posiva.fi



Suomen ydinenergia- tutkimuksen kansainvälistyminen

1950-luvulta alkaen silloinen Atomienergianeuvottelukunta tuki määrätietoista osaamisen kartuttamista mm. tukemalla asiantuntijoiden ulkomailla käyntejä ja mahdollistamalla 1962 käynnistetyn FiR1 -tutkimusreaktorin hankinnan. Ensimmäisen ydinvoimalan tilaaminen vuonna 1969 ja 1970-luvun lopulla otettu periaatekanta ydinjätehuollon itsenäisestä vastaamisesta suuntasivat olennaisesti tutkimustarvetta. Vuonna 1976 liityimme OECD:n ydinenergiajärjestöön NEA:han ja menimme mukaan yhteistutkimushankkeisiin eri puolilla maailmaa. EU:n tutkimusohjelmiin pääsimme mukaan osin jo ennen Suomen liittymistä EU:hun.

Atomien ja niiden ydinten rakenteen selvittäminen on ollut kansainvälinen tutkimuskohde kautta maailman sivun siinä mielessä, että yksittäiset tutkijat ovat muodostaneet oman yhteisönsä. 1900-luvun alkupuoliskolle asti joukkoon kuului kovin harvoja suomalaisia. Mainittakoon kuitenkin 1700- ja 1800-lukujen vaihteessa Turun Akatemian kemian professorina ja rehtorinakin toiminut Johan Gadolin, jonka kunniaksi on nimetty reaktorien ylijäämäreaktiivisuuden säätöön käytetty palava myrkkä gadolinium.

Ydinfysikaalisia suureita on mitattu radioaktiivisuuden keksimisestä lähtien. 1940-luvun Manhattan-projektista lähtien koottiin laajoja ydinfysikaalisia data- ja mittaustietokirjastoja. Ydinaseen merkitys maailmanpolitiikassa johti siihen, että länsimailla oli omansa ja Neuvostoliitolla omansa. Jotta Loviisan reaktorien käyttäytyminen voitiin analysoida toimittajasta riippumattomasti, meidän oli päästävä kä-

siksi länsimaisiin ydinreaktoreihin. Kysymyksessä oli miljardeja maksaneen tutkimustyön tulosten saaminen käyttöömmme.

Tutkimuksen kansainvälistymisestä voidaan sanan nykyisessä merkityksessä puhua kaiketi vasta sitten, kun erillään toimineet yksilöt muodostivat kansainvälisiä tiedeyhteisöjä ja kun näiden tutkimusyhteisöjen tavoitteet olivat hahmottuneet. Varsinaisen perustutkimuksen ohella ydintutkimuskeskittä ryhmittyi radioaktiivisen säteilyn ja sen sovellusten tutkimiseen lääketieteessä ja teollisuudessa, radiokemiaan sekä ydinenergiaan. Sotilaallisen alun jälkeen ydinenergia-tutkimus laajentui 1950-luvulta alkaen useihin maihin, joissa on keskitytty vain sen rauhanomaiseen käyttöön.

Ennen varsinaista Suomen ydinvoimakauden alkua Atomienergianeuvottelukunnan "stipendit" tarjosivat niitä saaneille kymmenille alan pioneereille suuren vapauden tutkimusaiheiden valinnassa. Neu-

vottelukunta tuki myös opintoja ja vierailuita ulkomailla.

Loviisa-projekti pakotti kansainvälistymiseen

Vuoden 1969 kesällä Suomen poliittinen johto päätti, että Imatran Voima ostaa Neuvostoliitosta ydinvoimalaitoksen Loviisaan. Moskovaan lähetettiin tämän jälkeen kii-reesti asiantuntijadelegaatioita selvittämään, mitä poliitikot olivatkaan hankkineet. Koska Loviisa oli sydämen rakenteen ja materiaalien osalta sekä erityisesti turvallisuusfilosofialtaan ja -ratkaisuiltaan ainutlaatuinen, sen sovittaminen länsimaisiin turvallisuuskriteereihin oli merkittävä haaste ja tutkimustarpeen synnyttäjä.

Ydinvoimalan riippumattomat turvallisuusanalyysit ja polttoaineen käytön suunnittelu saattoi tapahtua vain käyttämällä tietokoneohjelmia, joihin oli koodattu neutronien ja muitten ydinhiukkasten ja materiaalien vuorovaikutusmekanismit. ➔ ➔



APROS-simulaattoriohjelmisto toimitettiin Halden-projektin käyttöliittymien tutkimus-laboratorioon kiehutusvesireaktorin malliksi.

Onneksemme Suomeen hankittiin jo 1960-luvun aikana sen kokoluokan tietokoneita, että niissä voitiin pyörittää amerikkalaisperuisia ohjelmistoja, kunhan oltiin soveltamisessa osin aivan toisenlaisiin järjestelmiin riittävän kekseliäitä. Pääsy kärsiksi maailmanluokan ydinvakio- ja tietokoneohjelmakirjastoihin ratkesi Suomen OECD-jäsenyyden kautta. Suomi liittyi v. 1976 OECD:n ydinenergiajärjestön NEA:n Data Bankiin.

Venäläisiltä saatiin aluksi huonosti materiaalitietoja, saati näyttöitä. Niinpä tässäkin suhteessa jouduttiin turvautumaan perusosaamisen hankintaan läntisistä maista. Aluksi olivat keskeisiä vierailut Ruotsin Studsvikissa, Tanskan Risössä ja Norjan Kjellerissä, joissa oli jo vakiintunutta ydintekniikan tutkimusta. Nämä jakoivat tietoa meille hyvin avoimesti.

Välttämättömäksi todettiin myös perehtyminen raskaiden komponenttien valmistustekniikkaan. Valmistuksen valvontaan Venäjällä ei ollut mahdollisuuksia, kun edes tehtaiden sijaintia ei kerrottu. Heti 1970-luvun alussa päästiin kuitenkin yllättävänkin helposti tutustumaan tehtaille mm. Ruotsissa, Tšekkoslovakiassa, Japanissa ja USA:ssa.

Länsimaissa varmaankin pidettiin mielenkiintoisena mahdollisuutta saada jotain tietoa venäläisestä ydinvoimateknikasta Loviisa-hankkeen kautta. Suomalainen teollisuus, mm. Rautaruukki, Ahlström ja Wärtsilä, näki suuria mahdollisuuksia toimittaa komponentteja Loviisan laitokselle, joten ne osallistuivat aktiivisesti tiedon

hankintaan ja kehittivät uusia valmistustekniikoita.

Venäläisten kanssa oli pitkään vaikea saada aikaan konkreettisia yhteisiä tutkimushankkeita, yhtenä syynä hankala pääsy sikäläisiin tutkimuslaitoksiin. Vuosina 1976-1981 toteutettiin kuitenkin laaja polttoainesauvojen lämmönsiirtokriisin tutkimus Moskovan VTI -instituutissa ja 1980-luvun alusta alkaen IVO ja VTT antoivat merkittävän panoksen polttoaineen säteilytyskokeisiin Kurtsatov-instituutin MR-reaktorilla. Näissä hankkeissa toimitimme myös tietojenkeruulaitteistoja ja instrumentointia.

1990-luvun alkuvuosina tehtiin pietarilaisen Prometey-instituutin kanssa laaja ja paineastian lämpöshokkikokeita. Lappeenrannan teknillisen yliopiston Loviisan voimalaitosta tilavuusmittakaavassa 1:305 mallintavalla PACTEL-koelaitteistolla vuodesta 1990 alkaen tehdyt kokeet ovat tuottaneet olennaista tietoa VVER-reaktoreiden termohydrauliikasta kansainvälisenkin yhteisön käyttöön. Muiden VVER-reaktoreiden käyttäjien kanssa on tehty mm. reaktorifysikaalisten tietokonemallien kehitystyötä vuodesta 1981 alkaen VMK- ja sittemmin AER-yhteistyöverkostoissa.

Pohjoismainen yhteistyö

Haldenin tutkimusreaktorilla Norjassa työskenteli jo 1950-luvulla useita Suomen ydinvoimaohjelman pioneereja. Suomen Halden-projektiin osallistumissopimuksissa on olennaisena kohtana suomalaisten tutkijoiden palkkaaminen pitkäkestoisille

vierailuille projektin palvelukseen polttoaine-, valvomo- ja reaktorimateriaalien tutkimuksessa. Osan projektisopimuksen velvoitteista voimme suorittaa in-kind -tutkimushankkeina. Projektin asiantuntijoita on myös käytetty konsultteina ja siellä kehitetyt ohjelmistoja on otettu käyttöön Suomessa. Suomesta on puolestaan toimitettu projektin käyttöön simulaattoriohjelmitoista: 1980-luvun alkupuolella Nokia Elektronikka toimitti eräänlaisen Loviisan koulutussimulaattorin kopion ja 1990-luvun puolivälissä VTT ja IVO toimittivat APROS-ohjelmiston Haldenin laajaan Man-Machine -tutkimusympäristöön (Hammlab). Loviisa-tyyppisen polttoaineen säteilytysohjelmakin suunniteltiin käynnistettäväksi jo 1980-luvulla, mutta nykypäiviin asti jatkuvat VVER -polttoainekokeet saatiin käynnistettyä vasta vuonna 1995.

Vuonna 1958 Pohjoismaiden ministerineuvosto perusti NKA-yhteistyöelimen edistämään jäsenmaiden ydinenergiayhteistyötä. Toiminta käsitti lähinnä tiedonvaihtoa ja aloitteiden tekemistä. Vuodesta 1977 pohjoismainen yhteistutkimus on jatkunut julkisten ja teollisuustahojen yhteisesti rahoittamana ja hallinnoimana NKS (Nordiska kommittén för säkerhetsforskningen) -ohjelmalla, joka jatkuu edelleen painotuksiltaan jatkuvasti vaihdellen. Säteilysuojelun ja radioekologian ja osin myös jätehuollon tutkimushankkeisiin osallistuvat aktiivisesti kaikki Pohjoismaat Islantia myöten, mutta reaktoriturvallisuuden tutkimus on vähitellen jäänyt lähinnä vain Suomen ja Ruotsin varaan.

HDR oli höyryä tulistavan kiehtusreaktorin prototyyppi (100 MWth) Saksassa. (Lähde: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH)

Pohjoismaisen yhteistyön alkuvaiheessa laadunvarmistus oli keskeinen aihe. LoViisa -hankkeen haasteet aiheuttivat Suomessa erityisen tarpeen kehittää laadunvarmistuksen osaamista, joten suomalaiset vetivät tätä aihetta. Ydinvoimalaitosten komponenttien ja rakenteiden toimitukset toivat laatumenettelyt suomalaisen teollisuuteen, vaikka yritykset tätä "lisävaivaa" aluksi aika lailla vastustivat. Ydinvoimatekniikan tutkimus on muutenkin vaikuttanut merkittävästi valmistustekniikan menetelmien ja standardien kehittymiseen Suomessa.

Vuonna 1973 käynnistyneessä NORHAV -hankkeessa tehtiin reaktorien häiriö- ja onnettomuustilanteiden laskennallista ja kokeellista tutkimusta mm. Risössä toimineessa yhteisessä projektiryhmässä. Ruotsissa käynnistettiin useita teollisuusvetoisia uusien teknisten ratkaisujen suunnitteluhankkeita, joihin Finnatom ja VTT aktiivisesti osallistuivat mm. henkilöstöä lähettämällä.

Betonipaineastiatutkimus alkoi jo vuonna 1967 ja suomalaiset tulivat mukaan vuodesta 1974 alkaen. Lähisijoitukseen sopivan SECURE-lämmitysreaktorikonseptin kehitysprojekti alkoi vuonna 1976.

Voimme todeta, että pohjoismaisen yhteistyön alussa olimme vahvasti saavana osapuolena, mutta nyt ydintekniikan osaamisemme taso on Pohjoismaiden kärjessä. Tuntuu kuitenkin siltä, että ruotsalaiset tuovat edelleen itsensä paremmin esille kansainvälisillä yhteistyöfoorumeilla!

OECD:n ydinenergiajärjestöön v. 1976

OECD:n ydinenergiajärjestön NEA:n jäseneksi liitettiin pitkän valmistelun jälkeen 1976, mutta jo sitä ennen voitiin rajoitettusti osallistua moniin järjestön toimintoihin. Edellä mainitun Data Bank -osuuden lisäksi NEA on keskeinen kansainvälinen vaikuttaja ydinturvallisuuden, ydinjätehuollon ja ydinvastuukysymysten aloilla.

Monta suomalaista on ollut järjestön korkeissa virka- ja luottamustehtävissä, kuten VTT:n **Pekka Silvennoinen** Nuclear



Development Divisionin johtajana 1980-luvun alussa.

Materiaali- ja tarkastustekniikan aihepiirissä keskeinen varhainen hanke oli jo 1970-luvun lopulla käynnistetty ja useasti jatkettu PISC-projekti. Sen tulokset ovat ratkaisevasti vaikuttaneet metallirakenteiden tarkastustekniikoiden ja säännösten kehittymiseen maailmalla. Meille projekti tarjosi oivan mahdollisuuden saada käsityksen tarkastustekniikoidemme tasosta.

Ydinenergia-alan toinen keskeinen kansainvälinen järjestö on YK-perheeseen kuuluva IAEA. Sen lukuisat työryhmät ovat tutkimustietoa hyödyntäen valmistelleet ohjeita sekä selvityksiä ja ehdotuksia aiheista, joista tarvitaan entistä parempaa tutkimustietoa. Suomalaisia on ollut jatkuvasti IAEA:n eri osastojen tehtävissä johtajatasoa myöten, viimeksi Helsingin yliopiston radiokemian laitokselta aikanaan maailmalle lähtenyt nykyinen ydinmateriaalivalvonnasta vastaava varapääjohtaja **Olli Heinonen**.

Kansainväliset tutkimuskonsortiot

1970-luvulta alkaen eri puolilla maailmaa käynnistyi suuri määrä osanottajien muodostamien konsortioiden rahoittamia ja hallinnoimia tutkimusprojekteja. Tavoitteena oli kalliiden kokeiden suorittaminen, suurten tietokoneohjelmien kehittäminen tai yhteinen tutkimustiedon kerääminen ja analyysi. 1990-luvun jälkipuoliskolla, kun useita suuren mittakaavan koelaitteistoja oltiin säästöyistä sulkemassa, NEA ryhtyi

ns. SESAR-ryhmien avulla suunnittelemaan ja käynnistämään tällaisia konsortiohankkeita. Toiminta onkin nyt hyvin systemaattista ja suomalaiset ovat mukana melkein kaikissa yli kymmenestä käynnissä olevasta projektista.

Alkuvaiheessa ruotsalainen Studsvik oli erittäin aktiivinen konsortiohankkeiden käynnistäjä. Vuonna 1972 käynnistyi vuoteen 1985 asti jatkunut sarja täyden mittakaavan onnettomuustilanteiden termodynaamien kokeita Marvikenin käyttöön ottamatta jääneen ydinvoimalaitoksen paineastialla ja suojarakennuksella. Projektien osallistumismaksu suoritettiin lähettämällä kaikkiaan tusinan verran suomalaisia projektin palvelukseen, tutkijoiden ohella myös tietokoneasiantuntijoita.

Saksalaiset liittyivät Marviken-ohjelmaan antamalla sen jäsenille oikeudet vain lyhyen aikaa käytössä olleella HDR-ydinvoimalaitoksella toteutettavaan koeohjelmaan, joka jatkui vuoteen 1992 asti. Aihepiireinä olivat mm. paineastian ja putkiston kuormitukset, suojarakennuksen käyttäytyminen maanjäristyksissä ja lentokone-törmäyksissä sekä tulipalot. IVOn toimeksiannosta tehtiin kokeita suojarakennuksen ulkopuolisen ruiskutuksen tehokkuudesta.

Vuonna 1976 Studsvikin Interramp-projekti käynnisti nykypäiviin asti jatkuneen sarjan polttoaineen transienttitilanteiden kokeita. Viimeisin koesarja siirtyi Haldenin reaktoriin, kun Studsvikin R2 -reaktori suljettiin 2005. Polttoainesauvojen tutkimukset jatkuvat edelleen Studsvikin moder-



Marvikenin koskaan käyttöön ottamattomalla ydinvoimalaitoksella Ruotsissa päästettiin kriittisen virtauksen ja suihkun törmäysvoimakokeissa höyryt pois suojarakennuksesta.

neissa kuumakammioissa. Polttoainekokeiden tuloksia käyttäme jatkuvasti tietokoneohjelmien validoinnissa ja olemme osallistuneet hyvin aktiivisesti koeohjelmien suunnitteluun.

STUK ja VTT ovat 1970-luvulta alkaen olleet laajasti yhteistyössä Yhdysvaltain reaktoriturvallisuusviranomaisen USNRC:n kanssa. Sitä kautta on saatu suomalaistenkin ydinvoimalaitosten lupakäsittelyssä tarvittavia tietokoneohjelmia, kuten reaktorien jäähdytyspiirien termohydrauliikkaohjelman RELAP monet versiot ja vakavien reaktorionnettomuuksien monipuolinen analyysiohjelma MELCOR. Näiden ohjelmien validointi usean maan yhteistyönä on ollut keskeinen työmuoto.

Erityisen aktiivisesti osallistuimme USNRC:n ja myöhemmin NEA:n hallinnoimaan LOFT-projektiin vuodesta 1976 alkaen. LOFT-tutkimusreaktorilla Idahon erämaassa suoritettiin yhteensä lähes 50 kappaletta erilaisten transienttien ja putkistovuotojen koetta, joista viimeisessä vuonna 1985 reaktorisydämen annettiin vaurioitua laajasti. Projektin alkuvaiheessa Pohjoismaiden osallistuminen maksettiin NORHAV-projektin tuloksilla. LOFT-kokeiden tulokset ovat edelleen keskeisiä onnettomuusanalyysiohjelmien validoinnissa kaikkialla maailmassa.

1980-luvulla VTT:llä oli laajaa yhteistyötä myös USA:n ydinvoimayhtiöiden tutkimuskeskuksen EPRI:n kanssa. Painopisteenä oli aluksi materiaalien ja rakenteiden tutkimus. Myöhemmin korostui vakavien reaktorionnettomuuksien tutkimus. Myös moniin EPRI:n johtamiin erillisiin tutkimushankkeisiin osallistuttiin. Vuonna 1978 käynnistyneessä HBEP-projektissa kerättiin ja analysoitiin laajasti tietoa polttoaineen palaman nostamisesta. Vuodesta 1984 alkaen toteutettiin vakavien reaktorionnettomuuksien projektisarja (LACE, ACE ja MACE), joissa oli mukana suomalaisiakin in-kind -tutkimuspanoksia. EPRI:n kautta osallistuttiin myös USA:n ydinvoimateollisuuden vakavien reaktorionnettomuuksien IDCOR-ohjelmaan, josta saatiin mm. suomalaislaitostenkin turvallisuus-

analyysihin käytetty MAAP -tietokoneohjelma. EPRI:lle tehtiin materiaalitutkimuksia myös toimeksiantona. Myöhemmin IVOLA oli sopimus pohjaista yhteistyötä EPRI:n kanssa.

Kansainvälinen yhteistyö oli 1970-luvun lopulta alkaen jokapäiväinen ja olennainen osa suomalaista ydinenergian tutkimusta. VTT:ltä oli lähes koko ajan useampikin tutkija työskentelemässä ulkomailta ja vuoteen 1985 mennessä kolmannes aihepiirin tutkijoista oli ollut pitkällä ulkomaankeikalla yhteisprojekteissa. Lisäksi osallistuttiin laajasti kansainvälisten järjestöjen NEA:n ja IAEA:n työryhmiin niin antamalla substanssikontribuutioita kuin ottamalla johtamisvastuuta ryhmissä ja sihteeristössä.

EU-aikaan sopeuduttiin nopeasti

EU:n tutkimusohjelmiin päästiin rajoitusti mukaan jo ennen Suomen liittymistä EU:hun vuonna 1995. Vuonna 1986 solmittu sopimus mahdollisti projektikohtaisen osallistumisen omalla rahoituksellamme. Tällöin osallistuimme lähinnä JET-fuusiokoelaitteiston, ydinjätehuollon ja myöhemmin myös vakavien reaktorionnettomuuksien hankkeisiin. Eftan ja EY:n Euroopan talousalue -sopimus ei pettymykseksemme avannutkaan täyttä osallistumista ydinenergian tutkimukseen eli Euratom -ohjelmaan. Neljännen puiteohjelman hankkeissa 1995-1998 olimme kuitenkin jo täydessä vauhdissa ohjelman kaikilla alueilla.

Valitettavasti kävi niin, että fissioenergian tutkimukselle kohdistettu rahoitus supistui aika lailla kolmannen puiteohjelman käynnistyessä 1990. Siitä lähtien fissio-ohjelman rahoitus on painottunut ydinjätehuoltoon, jossa suomalaiset ovat usein Posivan johdolla saavuttaneet hyvän aseman, ja säteilysuojelun ja radioekologian tutkimukseen, missä STUKilla on koko ajan ollut vankka osuus. Aivan viime vuosina on saatu vahvistettua uuden ydinvoimateknologian (ns. Generation IV) tutkimusta.

Suomalaiset ovat integroituneet täysin EU:n ja sitä kautta globaaliin fuusioteknologian tutkimukseen. Suomesta ovat mu-



kana sujuvassa yhteistyössä VTT, yliopistoja ja suuri määrä innovatiivisia teknologia-yrityksiä. Fuusioteknologian tutkimuksessa "Euroopan yhteinen tutkimusmarkkina" eli ERA on jo toteutunut!

EU-yhteistyö näyttää heikentäneen bilateraaliyhteyksiä (USA, Japani, Pohjoismaat). EU:n tukea tutkijanvaihdolle ei ole pystytty tehokkaasti hyödyntämään – paitsi fuusiotutkimuksessa suorastaan erinomaisesti.

EU:n yhteistä tutkimuskeskusta JRC:tä ei Suomessa oikein tunneta. Sen palveluksessa ja tutkijanvaihdossa on kuitenkin ollut runsaasti suomalaisia. Materiaali- ja tarkastustekniikoiden PISC-projekteissa käynnistynyt yhteistyö jatkuu edelleen JRC:n verkostoissa ja on parhaillaan siirtymässä edelleen EU:n suomalaisvetoisen Nulife-huippuosaamisverkoston piiriin. VTT:ltä lähtenyt **Kari Törrönen** toimi JRC:n Energiainstituutin johtajana vuosina 1995-2007 ja **Anneli Pauli** Suomen Akatemiasta on juuri valittu koko JRC:n apulaispääjohtajaksi. JRC:n keskeiseksi rooliksi on 2000-luvulla tullut toimiminen EU:n komission asiantuntijana.

Jätehuollon tutkimus

Se, että meillä oli käynnistettävä merkittävä ydinjätehuollon tutkimuspanos 1970- ja 1980-lukujen taitteessa, johtui paljolti siitä, että merkittävät ydinenergiamaat olivat ydinaseohjelmiansa takia suuntautuneet käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsitteilyyn ja tähtäsivät sittemmin vähemmälle huomiolle jääneeseen plutoniumtalouteen. Koska Suomen oli sekä taloudellisesti että poliittisista syistä varauduttava hoitamaan täällä syntyneet ydinjätteet, suora geologinen loppusijoitus nousi esiin jokseenkin ainoana kotimaisena vaihtoehtona. Sen tutkimista oli muualla siihen mennessä aloitettu lähinnä Ruotsissa, jossa ns. ehtolain vaatimusten täyttämiseksi val-



1970-luvulla osallistuttiin moniin pitkiin kokeellisiin tutkimuksiin. LOFT -kooreaktori Idahan erämaassa USA:ssa simuloi painevesireaktorin primääripiiriä suhteessa 1:60

misteltiin vuonna 1978 kiireesti selvitykset (KBS-1 & 2), joilla pyrittiin osoittamaan, että sekä jälleenkäsittelyn korkea-aktiivisen jätteen että käytetyn polttoaineen loppusijoitus voidaan toteuttaa täysin turvallisesti.

Vuoden 1977 syksyllä käynnistyi Yhdysvaltain presidentti Carterin aloitteesta kansainvälinen ydinpolttoainekierto selvitys (INFCE), jossa selviteltiin jälleenkäsittelyn merkitystä useiden arviointitekijöiden valossa. Suomi oli yhdessä Ruotsin ja Hollannin kanssa puheenjohtajanaan ydinjätehuoltoa ja loppusijoitusta käsitelleessä työryhmässä. Tätä varten Suomeen oli hankittava vankka asiantuntemus käytetyn polttoaineen ja korkea-aktiivisen ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuuden ja teknistä taloudellisen toteuttavuuden arvioimiseksi. Tutkimuslaitoksissa käynnistettiin projekteja, joissa hankittiin analyyseissa tarvittavaa osaamista monimuotoisen kansainvälisen yhteistyön kautta. Sittemmin Posivan laaja tutkimusohjelma on noussut maailmalla laajasti tunnetuksi.

Ensimmäinen perusvaihtoehtoja vertaileva geologisen loppusijoituksen turvallisuusanalyysi julkaistiin vuonna 1979. Tästä eteenpäin turvallisuusanalyysien yksityiskohtaisuutta lisättiin asteittain ja otettiin enenevästi huomioon sijoituspaikkakohtaisia tietoja. Vuonna 1983 Valtioneuvosto teki periaatepäätöksen Suomen ydinjätehuolto-ohjelman keskeisistä tavoitteista ja aikatauluista. Vaikka tuossa periaatepäätöksessä muodollisesti pidettiin ensisijaisena vaihtoehtona käytetyn ydinpoltoaineen toimittamista ulkomaille jatkokesitte-lyä varten, käytännössä perusvaihtoehto-

na pidettiin kotimaista ratkaisua perustuen käytetyn ydinpoltoaineen suoraan loppusijoitukseen Suomen kallioperään. Laaja kotimainen ja ulkomainen yhteistyö toimi tehokkaasti ja tuotti tuloksia päätöksenteon pohjaksi alun perin asetetun aikataulun mukaisesti. Eduskunta saattoi vuonna 2001 vahvistaa Olkiluotoon sijoitettavan käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitoksen periaatepäätöksen.

Tutkimussaavutuksia kansainväliseen käyttöön

IVOn ja VTT:n yhdessä vuodesta 1984 kehittämän APROS-prosessisimulointiohjelmiston lisensoijaksi on myyty yli kahteenkymmeneen maahan ydinvoimalaitos- ja moniin muihin prosessisovelluksiin. Jo aiemmin VTT:n SMABRE-termohydrauliikkaohjelmisto myytiin useihin ruotsalaisen Studsvikin toimittamiin simulaattoreihin.

VTT:n Kim Wallinin kehittämä Master curve -menetelmä terästen murtumiskäyttäytymisen ja paineastian säteilyaurastumisen arviointiin on käytössä maailmanlaajuisesti ASME-koodissa.

Myös ASME-koodin väsymismitoitukseen on vaikutettu. Meillä on ollut käytävissä sekä hyvät tutkimuslaitteet (instrumentoitu kuumakammio ja korroosiotutkimuslaitteistoja) että vahva laskentaosaaminen ja Loviisa -hanke edellytti murtumismekaniikan osaamisen kehittämistä jo 1970-luvun alusta alkaen.

Monipuolisesti instrumentoituja korroosion tutkimuslaitteistoja on toimitettu monille ulkomaisille tutkimuslaitoksille ja voimayhtiöille, myös teräs- ja öljyteollisuudelle. VTT:n spin-off -yritys Cormet on ollut käytännön toteuttajana viime vuosikymmenen ajan.

Viime vuosina on toimitettu useihin tutkimushankkeisiin laitteita, joilla voidaan mitata reaktorisydämen sisällä materiaali-

en mekaanisia ja jäähdytteen vesikemiallisia ominaisuuksia.

IVO ja myöhemmin Fortum on toteuttanut itse rakentamallaan laitteistoilla useita laajasti maailmalla tunnettuja kokeita Loviisan laitoksen turvallisuusparannuksia tukemaan. Aiheina ovat olleet mm. primääripiirin vesilukot, paineastian ulkoisen jäähdyttämisen sydämensulamistilanteessa (COPO) ja suojarakennusilmioit (VICTORIA).

Lopuksi

Tiedämme, että pystymme Suomessa tuottamaan vain pienen murto-osan uudesta tiedosta. Voitaneen hyvällä syyllä väittää, että ydinenergian hyväksikäyttö pohjautuu Suomeen siirrettyyn teknologiaan suhteellisesti enemmän kuin mikään muu tuotantoelämämme kannalta keskeinen teollisuusala. Ydinenergiatutkimus kansainvälisine yhteyksineen on ollut teknologian siirron väline ja sellaisenaan välttämätön, joskaan ei tietenkään riittävä panostus sen mahdollistamiseksi, että meillä on tasapainoinen ja ympäristöstä ystäväallinen energian tuotantorakenne.

Tutkimuksen keskeisenä haasteena on ollut suhteuttaa ydinenergiatekniikan kaltaisen huipputeknologian edellyttämät henkiset ja aineelliset voimavarat Suomen mittakaavaan. Osaamispääoman luominen on vaatinut osallistumaan megahankkeisiin, jotka ajankohtaansa nähden tuntuivat ajoittain ylivoimaisilta. Samalla on kertynyt ihmisiin sidottu osaaminen, mikä onkin kenties ollut kansainvälisen yhteistyön paras tuotos. Koska Suomen ydinenergiatutkimus on luonteeltaan ollut tarve- ja ongelmalähtöistä, se on ollut lähellä ja palvelellut tuotantoelämää. Näin se on kansainvälisessä katsannossa ollut erittäin kustannustehokasta.

TkT Lasse Mattila
Tutkimusprofessori
VTT
lasse.mattila@vtt.fi



Prof. Pekka Silvennoinen
Teknologijaohdaja
VTT
pekka.silvennoinen@vtt.fi



TkT Seppo Vuori
Asiakaspäällikkö
VTT
seppo.vuori@vtt.fi



Uraani – Suomen luonnosta ydinpolttoaineeksi vai tutkijan hyödynnettäväksi

Uraaninetsintä- ja kaivostoiminta Suomessa nykypäivään asti

Uraanin etsiminen ja uraanimalmin louhiminen ei ole Suomessa uutta. Jo 1950- ja 1960-luvuilla meillä etsittiin uraania, näkyvimmin puunjalostusteollisuuden perustaman Atomenergia Oy:n toimesta. Enon Paukkajanvaaran kaivoksesta ja pienistä ympäristön avolouhoksista louhittiin vuosien 1958 ja 1961 välillä yhteensä yli 40 000 tonnia malmin, jossa keskipitoisuus oli 0,1–0,2 prosenttia uraania. Malmista tuotettiin 20–30-prosenttinen uraanioksidirikaste, joka myytiin Ruotsiin. Tuotanto päättyi malmin loppumiseen. Kaivoskuilut on nykyään räjäytetty umpeen ja kaivoksesta nostettujen kivien ja rikastushiekan päälle on ajettu puolen-toista metrin maakerros. Vuonna 2001 Säteilysurvakeskus totesi kaivosjätteet hyväksytysti loppusijoitetuiksi.

Imatran Voima Oy – nykyinen Fortum – louhi ja rikasti keskimäärin 0,1 prosentin uraanimalmia yhteensä 557 tonnia Askolassa. Puhdasta uraanioksidia saatiin muutamia kymmeniä kiloja. Outokumpu Oy etsi uraania systemaattisesti vuosina 1958–1975. Löydetystä esiintymistä merkittävimpiä ovat Paltamon Nuottijärvi, Kolarin Kesänkitunturi, Kittilän Pahtavuoma ja Vihannin Lampinsaaren uraani-fosforikerros sinkkimalmien vieressä. Rautaruukki Oy tutki muutamia esiintymiä 1970-luvulla, muun muassa Savukosken Soklin karbonaattia ja Tervolan Mustamaan uraaniyesiintymää. Geologian tutkimuskeskus etsi uraania vuosina 1974–1984. Paras löytö oli Nummi-Pusulan Palmottu. Kuusamosta löytyi lisäksi useita kulta-koboltti-uraaniaiheita. Pienessä mitassa uraaninetsintään osallistui myös Neste Oy:n säätiö ja Kemi Oy.

Kauppa- ja teollisuusministeriö rahoitti 1970-luvulla uraanin etsintää ja perustutkimusta paitsi useiden eri yhtiöiden, myös Geologian tutkimuskeskuksen ja yliopistojen projekteissa. Näitä töitä ohjasi silloisen Atomineurgianeuvottelukunnan uraanijaosto.

Uraanin tuotanto viisikymmentä vuotta sitten oli sekä Paukkajanvaarassa että Askolassa tehdasmittakaavaista tuotantokeilua. Varsinaista kaupallista uraanin tuotantoa Suomessa ei ole harjoitettu. Uraaninetsintä lopetettiin Suomessa 1980-luvun alussa tapahtuneen uraanin hinnan romahduksen takia.

Pitkän tauon jälkeen uraanin hinta (spot-hinta) lähti voimakkaaseen nousuun vuonna 2003. Kun U_3O_8 maksoi vuoden 2002 lopussa noin 10\$/lb, oli hinta heinäkuussa 2007 noin 140 \$/lb (1 lb=453,6 g). Tämän huipun jälkeen hinta on lähtenyt laskuun ja oli elokuun lopussa 90 \$/lb. Koska Suomen kallioperä on otollinen uraanin esiintymiselle, kaivos- ja malminetsintäyhtiöt kiinnostuivat uraanin etsinnästä tietysti myös Suomessa ja tekivät lukuisia varausilmoituksia. Kauppa- ja teollisuusministeriö myönsi ensimmäiset valtausvaraukset uraaninetsintään syksyllä 2004 ranskalaiselle COGEMA (AREVA)-yhtiölle. Varausalueet sijaitsivat itäisellä Uudellamaalla ja Pohjois-Karjalassa.

Ensimmäiset uraanivaltaushakemukset jätettiin kauppa- ja teollisuusministeriölle syksyllä 2005. Uraanivaltauksia KTM on hyväksynyt tätä kirjoitettaessa kaksi kappaletta, Eno-Kontiolahti (AREVA) ja Kuusamo (Namura Finland Oy). Molemmista on valitettu, joten maassamme ei ole yhtään lainvoimaista uraanivaltausta tällä hetkellä.

Mainittakoon, että Ruotsissa oli heinäkuussa 2007 voimassa 143 uraanivaltausta.

Toistaiseksi maastamme löydetty uraaniyesiintymät ovat kaikki olleet niin pieniä ja köyhiä, ettei niiden varaan ole ollut mahdollista perustaa taloudellisesti kannattavia kaivoksia.

Kaivoslain uudistaminen

Kaivoslain uudistamisprosessi on ollut käynnissä jo useita vuosia. Kauppa- ja teollisuusministeriö asetti keväällä 2005 virkamiestyöryhmän, jonka tehtävänä on laatia ehdotus kaivoslain ja sen nojalla annettujen säännösten muuttamiseksi ottaen huomioon aikaisempien työryhmien muistiot (”Esitys kaivoslain uudistamiseksi”; KTM:n työryhmä- ja toimikuntaraportteja 2/2003, ja ”Kaivosturvallisuussäädösten muutostarpeita selvittävän työryhmän raportti”; KTM:n työryhmä- ja toimikuntaraportteja 3/2003) sekä niistä annetut lausunnot.

Toimeksiannon mukaan työryhmän tuli erityisesti kiinnittää huomiota kaivoslainsäädännön ja muun lainsäädännön soveltamisalojen yhteensovittamiseen sekä sääntelyn täsmällisyyttä ja tarkkarajaisuutta koskeviin periaatteisiin. Työryhmän toimikausi päättyy 31.10.2007. Tarkoituksena on, että hallituksen esitysluonnos lähetetään laajalle lausuntokierrokselle sidosryhmille. Jos eduskunta aloittaa esityksen käsittelyn vuoden 2009 alussa, on todennäköistä, että uusittu kaivoslaki ei astu voimaan ennen vuotta 2010.

Lisäksi KTM asetti 11.5.2007 työryhmän, jossa ovat edustettuina kauppa- ja teollisuusministeriö, ympäristöministeriö, työministeriö, opetusministeriö ja sisäasiainministeriö sekä SAK ry, Kaivannaisteolli-



Uraanimalmia Enon Paukkanvaarasta.
Keltainen mineraali uranofaania.
Kuva: Jari Väättäin, Geologian tutkimuskeskus

Lähdeviitteet

Ahonen, Lasse; Kaija, Juha; Paananen, Markku;
Ruskeeniemi, Timo; Hakkarainen, Veikko 2004.

*Palmottu natural analogue: a
summary of the studies.*

Tiivistelmä: Palmotun luonnonanalogia-
tutkimus. Geologian tutkimuskeskus.

Ydinjätteiden sijoitustutkimukset.
Tiedonanto YST-121.

Espoo: Geologian tutkimuskeskus.
http://arkisto.gsf.fi/yjt/YST_121.pdf

Brandberg, F., Grundfelt, B., Höglund, L.O.,
Karlsson, F., Skagius, K., Smellie, J., 1993. *Studies
of Natural Analogues and Geological Systems –
Their Importance to Performance Assessment.*
Voimayhtiöiden ydinjätetoimikunta.
Raportti YJT-93-07.

Cowan, G.A. 1976. "A Natural Fission Reactor,"
Scientific American, 235:36.

Geologian tutkimuskeskus. 2007.
Uraani – ydinvoiman energiametalli.
<http://www.gtk.fi/luonnonvarat/malmi/uraani/>

KTM, 1988. *Kauppa- ja teollisuusministeriö,
energiaosasto. Luonnonanalogat ydinjätteiden
loppusijoitustutkimuksessa, Sarja D:160.*
Valtion painatuskeskus, Helsinki 1988.
ISBN 951-47-2034-2.

Miller, A., Alexander, R., Chapman, N., MacKinley,
I., Smellie, J. 1994. *Natural analogue Studies in
the Geological Disposal of Radioactive Wastes.*
Studies in Environmental Science 57. Elsevier.
ISBN 0-444-81755-7.

Poteri, Antti, 2007. *Luonnonanalogat.*
[http://www.tkk.fi/Units/AES/courses/crspages/
tfy170_00/07_luonnonanalogat.pdf](http://www.tkk.fi/Units/AES/courses/crspages/tfy170_00/07_luonnonanalogat.pdf)

Tontti, Mikko, 2006.
*Uraaninetsintä Suomessa
– tausta ja nykytilanne.*
KTM, Energiakatsaus 2, 9-11.

Äikäs, Olli 2006. *Uraaninetsintä havahtui
Ruususen unesta nykypäivään.*
Materia 63 (3), 8-13.

suusyhdistys ry, Kiviteollisuusliitto ry, Suomen Maanrakentajain Keskusliitto ry ja Teknologiateollisuus ry. Kaivannaissektorin toimintaedellytyksiä pohtivan työryhmän tehtäviin kuuluu muiden asioiden ohella "käsitellä [kaivannaisteollisuuden] toimintaan liittyvän lainsäädännön ja lupa-ikäntöjen koordinoimista." Työryhmän toiminta-aika päättyy 31.12.2009.

Palmottu - uraanesiintymän käyttö loppusijoituksen analogiana

GTK koordinoi 1996-2000 EU:n rahoittamaa kansainvälistä Palmottu-projektia, jossa tutkittiin mm. radionuklidien kulkeutumista uraanesiintymän ympäristössä analogiana käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusympäristölle. Nummi-Pusulan Palmotussa sijaitseva pieni uraani-torium -esiintymä valittiin tutkimuskohteeksi koska sillä on useita yhteisiä ominaisuuksia loppusijoitustilaksi valitun Olkiluodon kanssa (Ahonen, Lasse et al., 2004).

Palmotun kallioperän ylimmän rakoilleen osan pohjavedet ovat laimeita äskettäin suotautuneita bikarbonaattityypin vesiä, joiden alla on huomattavasti suolaisempia sulfaatti- ja kloridityypin pohjavesiä. Kloridivedet ovat iältään noin 11 000 v. eli lähellä viimeisen mannerjäätikön pe-

rääntymisen ajankohtaa. Suolaisten pohjavesien kemia ja isotoopit osoittavat selvästi että huonosti vettäjohtavassa syvässä kallioperässä vallitsevat stabiilit virtausolot jolloin myös pohjaveden kemia pysyy lähes muuttumattomana. Tämä on oleellinen tieto myös käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta ajatellen.

Happi-isotoopitutkimusten tulokset viittaavat siihen että Palmotun alueella mannerjäätikön sulamisvedet ovat suuren hydraulisen paineen vaikutuksesta mahdollisesti tunkeutuneet parin sadan metrin syvyyteen. Hapetus-pelkistysprosessien mallinnus puolestaan osoitti että kallioperällä on ollut riittävä puskurointikapasiteetti vastustaa hapettavien olojen tunkeutumista syvemmälle.

Uraanin mineralogiset tutkimukset osoittavat, että kallioperän yläosissa on käynnissä jatkuva muuttumisprosessi. Tätä tukee myös suurten uraanipitoisuuksien esiintyminen kallioperän yläosien bikarbonaattityypin vesissä. Alempana kallioperässä olosuhteet ovat pelkistävät, joten siellä myös pohjaveden uraanipitoisuudet ovat pienet. Vaikka uraanesiintymä on ollut miljoonia vuosia alttiina supergeenisille rapautumisprosesseille uraanin leviäminen ympäristöön on ollut vähäistä.



FL Mikko Tontti
Erikoistutkija
Geologian tutkimuskeskus
Geologia ja mineralogia
mikko.tontti@gtk.fi

Luonnonanalogiat



Paukkajanvaaran uraani-kaivos vuonna 1961. Kuva: Ilkka Laitakari, Geologian tutkimuskeskus

Oklon uraani-esiintymä sijaitsee Afrikassa, päiväntasaajalla sijaitsevan Gabonin kaakkoisosassa. Oklon katsotaan olevan paras analogia loppusijoitetulle käytetylle polttoaineelle (KTM 1988). Se on myös ainoa tunnettu esimerkki luonnon fissioreaktorista (Cowan, G. A., 1976; Miller et al., 1994). Okloon rakennetusta kaivoksesta louhittu uraanimalmista havaittiin vuonna 1972 isotooppianomalia.

Isotoopin ^{235}U määrä oli laskenut normaalista 0,72 % arvoon 0,62 %, paikoin enemmänkin (Brandberg et al. 1993). Lisätutkimuksissa huomattiin, että myös muiden isotooppien suhteet olivat muuttuneet tavalla, josta pääteltiin, että esiintymässä oli tapahtunut itsestään fissio noin 2000 miljoonaa vuotta sitten.

OKLON PRIMÄÄRIESIINTYMÄ on mahdollisesti biogeneettisesti rikastunut uraani-esiintymä. Tästä esiintymästä uraania on lähtenyt hapettavan vesikierron mukaan. Veden kohdatessa orgaanisten

ainesten aiheuttaman pelkistävän rintaman on uraani saostunut hiekkakivisedimenttiin (Miller et al. 1994). Tässä sekundääriesiintymässä uraani on rikastunut (jopa 70 % uraanioksidia). Tällöin on ^{235}U kriittinen massa voinut ylittyä, jolloin fissioreaktio on käynnistynyt (Miller et al. 1994).

KAIKKIAAN ALUEELTA on löydetty 16 erillistä reaktorimuodostumaa. Useissa tapauksissa reaktorit ovat saven ympäröimiä. Reaktorit toimivat sykäyksittäin noin 100 000–1 000 000 vuotta. Uraanipolttoainetta oli alussa karkeasti arvioituna 1000–2000 tonnia. Tästä määrästä 6–12 tonnia oli ^{235}U :na, joka fissioitui tuottaen 17 800 megawattia energiaa ja 4 tonnia plutoniumia. Reaktorien toimintalämpötilaksi on arvioitu noin 600 °C ja paineeksi 800–1000 bar (Miller et al. 1994).

OKLON REAKTOREITA on sovellettu sekä käytetyn polttoaineen analogiana että

analogiana fissiotuotteiden kulkeutumisesta ja pidättymisestä. Oklostä tehtyjen havaintojen mukaan syntynyt ^{239}Pu pysyi uraniniitissa ja hajosi ^{235}U :ksi. Muut metalliset fissiotuotteet, jotka muodostivat metallisia sulkeumia tai uraniniittirakenteessa stabiileja oksideja ovat liikkuneet korkeintaan mikrometrejä (Brandberg et al. 1993). Analogia käytettyyn polttoaineeseen ei kuitenkaan ole täydellinen, koska Oklon uraniniitti sisältää vähemmän fissiotuotteita kuin käytetty polttoaine, maksimilämpötilat ovat olleet alemmat kuin reaktorissa ja uraniniitti on paremmin säilyntä kuin käytetty polttoaine, koska uraniniitissa on tapahtunut vähemmän ydinreaktioita.

TUTKIMUKSET OVAT myös osoittaneet, että huomattavia määriä fissioperäisiä radionuklideja on pidättynyt ympäröivään kallioon (Brandberg et al. 1993).

Mikko Tontti

VTT ja suomalaisen ydinenergiatutkimuksen alkuvuosikymmenet

Suomalainen ydinenergiatutkimus on läpikäynyt useita mielenkiintoisia vaiheita lähtien energiakomitean ja atomienergianeuvottelukunnan perustamisesta 1950 -luvulla aina nykyisten kansallisten tutkimusohjelmien aikaan saakka. Valtion teknillinen tutkimuskeskus kehittyi ydinenergiatutkimuksen pääpaikaksi 1970 -luvun aikana.

Tieto fissioreaktion kokeellisesta havaitsemisesta ja ilmiön sotilaallisista ja rauhanomaisista soveltamismahdollisuuksista saavutti Suomenkin hyvin nopeasti vuoden 1939 alussa. Toisen maailmasodan jälkeen ydinenergian tutkimuksesta ja hyväksikäytöstä tuli osa suurvaltojen välistä taloudellista ja poliittista valtakamppailua. Pienetkin valtiot sijoittivat merkittävästi voimavaroja ydintekniikan kehittämiseen. Ruotsi, Norja ja Tanska perustivat muiden mukana kansalliset ydinenergian tutkimuskeskukset.

Poliittiselta liikkumavaraltaan rajoitettu Suomi joutui keskittämään resurssinsa sotakorvauksien maksamiseen ja jälleenrakennukseen. Ydinenergiasta kiinnostuneet tutkijat totesivatkin VTT:n historiateoksen mukaan 40-luvun lopulla: "Suomella ei ole lähitulevaisuudessa käytännön taloudellisia ja poliittisia mahdollisuuksia aloittaa atomitutkimuksia. Tulevaisuuden tarpeita varten

yritetään kuitenkin kouluttaa atomitutkijoita, jotta Suomi pysyisi mukana teknologisessä kehityksessä."

Energiakomitea ja atomienergianeuvottelukunta

Kauppa- ja teollisuusministeriö asetti vuonna 1955 Suomen akatemian aloitteesta komitean selvittämään keinoja edistää ydinenergian rauhanomaista hyväksikäyttöä. Taustalla oli Genevessä elokuussa 1955 pidetty YK:n ensimmäinen atomienergiakonferenssi. Professori, sittemmin akateemikko **Erkki Laurilan** johtama ns. energiakomitea (sana atomi jätettiin tietoisesti pois nimestä) arvioi, että vaikka ydinenergian hyväksikäyttö ei olisi ajankohtaista Suomessa lähitulevaisuudessa, siitä voisi tulla myöhemmin yksi energiatuotantotavoista. Varovaisen perusnäkömyksensä mukaisesti komitea katsoi, ettei Suomeen tullut perustaa erityistä ydintekniikan tutkimuskeskusta. → →

Se kuitenkin suositteli, että maamme oli pyrittävä hankkimaan riittävä asiantuntemus useilla ydintekniikkaan liittyvillä osaluilla sijoittamalla tutkijoita yliopistoihin, korkeakouluihin ja sopiviin tutkimuslaitoksiin. Energiakomitea ehdotti, että ydinenergian rauhanomaista hyväksikäyttöä koskevien kysymysten hoitamista varten perustettaisiin atomienergianeuvottelukunta (AEN).

Valtiovalta hyväksyi energiakomitean suositukset. AEN aloitti toimintansa vuoden 1958 alussa ja sille myönnetyn rahoituksen turvin voitiin aloittaa ydinenergia-tutkijoiden palkkaaminen. Näitä AEN-stipendiaatteja, joista monet olivat TKK:n teknillisen fysiikan osaston kasvatteja, sijoitettiin myös silloiseen Valtion teknilliseen tutkimuslaitokseen (VTT).

VTT:n laboratoriot osallistuivat myös muulla tavoin ydinenergia-alan tutkimuksiin. Laitoksessa tutkittiin esimerkiksi uraanimalmin käsittelymenetelmiä. Professori Laurilan johtama VTT:n teknillisen fysiikan laboratorio antoi merkittävän panoksen Teknillisen korkeakoulun yhteyteen sijoitetun ja vuonna 1962 käyttöönotetun Triga -reaktorin rakennusprojektiin. Tutkimusreaktorin hankintakin oli kuulunut energiakomitean suositukseen.

Radioaktiivisuusmittaukset ja säteilyn vaikutusten tutkiminen aloitettiin myös 50-luvulla ja vuonna 1958 perustettiin nykyisen Säteilyturvakeskuksen edeltäjä Säteilyfysiikan laitos.

Myös yksityisellä puolella pyrittiin lisäämään ydinteknistä tietoa ja osaamista. Suurin kiinnostus kohdistui uraanin etsintään, mutta teollisuuden perustama Voimayhdistys Ydin lahjoitti 50-luvun lopulla TKK:lle alikriittisen hilan, joka sittemmin oli osa TKK:n reaktorilaboratoriota.

Ydinenergiatutkimusryhmät

AEN -stipendiaattijärjestelmä oli tehokas tapa kouluttaa asiantuntijoita. Eri laitoksissa ja osin ulkomailla työskentelevien tutkijoiden yhteistyö oli kuitenkin hankalasti järjestettävissä. Atomitekniillisen seuran (ATS) perustamisella vuonna 1966 pyrittiin

luomaan yksi yhteydenpitokanava. ATS oli muutenkin aktiivinen. Yksi sen ensimmäisistä aloitteista koski ns. koodiryhmän perustamista. Uuden ryhmän tehtäväksi esitettiin ydinreaktorien käyttäytymisen enustamiseen tarvittavien tietokoneohjelmien kehittämistä.

Esityksen taustalla oli paitsi arvio, että Suomi tulisi hankkimaan ensimmäisen ydinreaktorinsa lähitulevaisuudessa, niin myös tietokonetekniikan nopea kehitys, jonka seurauksena Suomeenkin oli hankittu tieteelliseen laskentaan kelpaavia laitteistoja.

Koodiryhmä aloitti toimintansa vuoden 1968 alussa. Muutaman vuoden kuluessa kauppa- ja teollisuusministeriön alaisuuteen perustettiin vielä dynamiikka-, reaktorimateriaali- ja luotettavuusryhmä.

Ydinenergiatutkimus keskitetään VTT:lle

TKK:n ja VTT:n välinen kytkentä katkaistiin 1970-luvun alussa, kun korkeakoulu siirrettiin opetusministeriön alaisuuteen. TKK:n reaktorilaboratorio siirrettiin VTT:n alaisuuteen, jonne päätyivät myös KTM:n erilliset tutkimusryhmät. Tutkimuskeskuksesta tuli ydintekniikan tutkimuksen pääpaikka Suomessa. Kehityksen taustalla voi nähdä vuonna 1970 VTT:n pääjohtajaksi nimitetyn professori, sittemmin akateemikko **Pekka Jauhon** vaikutuksen. Pääjohtaja Jauho oli ollut keskeinen ydinenergia-alan vaikuttaja energiakomiteasta alkaen.

VTT laajensi ydinenergiatutkimusta uusille aloille 70-luvun alussa. Vuonna 1972 perustettiin lämmitysreaktoriryhmä selvittämään pienen ydinreaktorin soveltuvuutta kaukolämmön tuotantoon. Vuotta myöhemmin sille annettiin tehtäväksi myös ydinreaktorien sijoituspaikkatutkimukset. Vuonna 1972 KTM antoi VTT:lle tehtäväksi laatia suunnitelman reaktoriturvallisuustutkimuksen aloittamisesta. Tämän ns. TOP-projektin loppuraportissa esitettiin neljän konkreettisen tutkimusaiheen lisäksi toiminnan liittämistä reaktorianalyyseriymään (entinen koodiryhmä). Siinä suositel-

tiin myös uuden, ydintekniikkaan keskittyvän laboratorion perustamista VTT:n yhteyteen. Ehdotus toteutettiin ja ydinvoimatekniikan laboratorio (YDI) aloitti toimintansa 1.3.1974.

Ydinvoimatekniikan laboratorion toimintakenttään liitettiin lähes välittömästi myös rakenneanalyysi ja kokeellinen lämpö- ja virtaustekninen tutkimus, joka toteutettiin yhteistyössä Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun (LTKK) kanssa. Uudet koelaitteistot sijoitettiin LTKK:n yhteyteen ja korkeakoulun tiloissa työskenteli myös pie-nehkö YDI:n ryhmä.

Pääjohtaja Jauhon välittömässä alaisuudessa keväällä 1972 aloittanut ydintekniikan tutkimusryhmä päätyi myös 70-luvun puolivälissä YDI:n yhteyteen. Silloin sen päätutkimuskohteena oli fuusioenergia.

Koodiryhmän tavoin aiemmat KTM -tutkimusryhmät sulautettiin lopulta VTT:n laboratorioihin. Dynamiikka- ja luotettavuusryhmät päätyivät sähkötekniikan laboratorioon ja reaktorimateriaaliryhmä metallilaboratorioon.

VTT:n ydintekniikan tutkimus hajasijoitettiin siten, että sitä tehtiin jokaisessa kolmesta tutkimusosastosta seitsemässä eri laboratoriossa. Samalla se laajeni erittäin nopeasti. Sähkö- ja atomitekniikan osaston johtajan Veikko Palvan mukaan 150 VTT:n tutkijaa oli vuonna 1974 enemmän tai vähemmän mukana ydinenergiatutkimuksissa.

Nopean kasvun nopea loppu

Harrisburgin reaktorionnettomuus keväällä 1979 sai aikaan monissa maissa ydinreaktorien rakennusohjelmien supistamisen tai jopa lopettamisen. Seurauksena oli myös alan tutkimusrahoituksen vähentäminen. Suomessa ydinenergiatutkimuksen laajeneminen näyttää kuitenkin päättyneen osittain myös valtiontalouden vaikeuksiin, jotka kärjistyivät vuonna 1977. Rahoitusvaje heijastui luonnollisesti myös VTT:n talouteen. Osastonjohtaja **Veikko Palva** arvioikin vuoden 1977 keväällä, että valtion rahoittama ydintekniikan tutkimus ei ilmeisesti lisääntyisi lähivuosina. Suuriin

laitainvestointeihin ei olisi varaa. Tutkimuksen painopisteitä oli kuitenkin muutettava tarpeen mukaan.

Yksi uusista ydinenergiatutkimuksen painopisteistä oli ydinjätehuolto. VTT:n reaktorilaboratoriossa oli jo vuonna 1974 aloitettu matala-aktiivisen jätteen käsittelymenetelmien tutkimus. Intian samana vuonna tekemä ydinkoe käynnisti myös muutamia laajoja kansainvälisiä ydinpoltoainekiertoelityksiä (alueelliset polttoainekeskukset ja International Nuclear Fuel Cycle Evaluation, INFCE), joihin Suomi osallistui merkittävällä panoksella.

Hankkeiden merkittävin tulos oli avoimen kierron ja käytetyn polttoaineen suoran loppusijoituksen nostaminen vakavasti otettavaksi vaihtoehdoksi jälleenkäsittelylle. Suomessa alettiin Ruotsin esimerkin mukaisesti selvittää suoran loppusijoituksen tekniikkaa. VTT:ssa alan tutkimusta tehtiin sekä reaktorilaboratoriossa että YDI:ssä.

VTT:n sähkötekniikan laboratoriossa lisättiin 70-luvun lopussa voimavaroja ydinreaktorien taloudellisen kilpailukyvyyn arviointimenetelmien ja systeemianalyysitekniikan kehittämiseen. Dynamiikkaryhmän hankkimaa osaamista sovellettiin Loviisan koulutussimulaattorin rakentamisessa. Materiaalitutkimuksessa paineastiaterästen säteilyaurastumisen tutkimus oli keskeinen ongelma 70- ja 80-lukujen vaihteessa.

Rahoituksesta 70- ja 80-lukujen vaihteessa

Atomienergianeuvottelukunnan keräämien tietojen mukaan Suomessa käytettiin vuonna 1979 ydinenergiatutkimukseen yhteensä lähes 50 miljoonaa markkaa. Summasta puolet tuli valtion varoista (siitä 11,2 miljoonaa KTM:n ydinenergiatutkimusmäärärahaa ja 7,2 miljoonaa VTT:n budjettirahoituksesta) ja loput alan yhtiöiltä, pääasiassa Imatran Voima Oy:ltä (IVO). Rahoituksen turvin tehtiin noin 250 henkilötyövuotta (htv), josta VTT:n osuus oli noin 40 % (107 htv). Kun mukaan laskettiin niin tilaustutkimukset kuin myös testaus- ja tarkastustoiminta, joiden ra-

hoitus tuli pääosin teollisuuden nimiin kirjatusta summasta, VTT:n työpanoksen ydinenergia-alalla arvioitiin nousevan yli 200 htv:een. IVO:n tutkimustoiminnan laajuus ilmoitettiin 55 htv:ksi. Suomalaisen valmistavan teollisuuden perustama Finnatom Oy käytti vielä tuolloin 17 htv:n panoksen tutkimus- ja kehitystyöhön. Geologinen tutkimuslaitos puolestaan käytti uraanin etsintään edelleenkin merkittävästi voimavaroja (27 htv).

KTM:n tutkimusrahoitus kasvoi markkamäärältään vielä hieman vuoteen 1981 mennessä. Silloisesta 12,2 miljoonasta markasta 74 % päättyi VTT:lle ja 10 % Finnatomille. KTM:n arvion mukaan määräraha riitti 112 htv:n teettämiseen. VTT:n työpanos arvioitiin 72 htv:ksi. Tutkimuskeskuksen projekteista eniten KTM:n ydinenergiaraha sai reaktorionnettomuuksien lämpö- ja virtausteknilliset kokeet ja laskentamenetelmät (16,4 htv), mutta ydinjätetutkimustakin tuettiin noin 12 htv:n verran.

VTT:n ydinvoimatekniikan laboratorion rahoitusrakenteen muutos 80-luvulla ei välttämättä vastaa yleistä kehityskulkua, mutta ilmeistä on, että KTM:n suhteellinen osuus ydinenergiatutkimuksen rahoituksesta pieneni 80-luvulla ja teollisuuden tilaustöiden ja joillakin aloilla myös VTT:n perusrahoituksen merkitys vastavasti kasvoi.

Tutkimuksen suunnittelu ja ohjaus

Atomienergianeuvottelukunta jaostoiheen ohjasi alkuperäisen tehtävänsä mukaisesti suomalaista ydinenergiatutkimusta. Kun VTT:sta 70-luvulla tuli keskeinen toimija, tutkimuskeskus sai usein tehtäväkseen selvittää eri osa-alueiden tutkimustarvetta ja tehdä ehdotuksia, miten tarve tyydytettäisiin tyypillisesti 3-5 vuoden aikana. Mitään yhteenvetoa eri tahojen ehdotusten ja niiden pohjalta laadittujen tutkimussuunnitelmien toteutumisesta ei ole ollut käytettävissä tätä artikkelia kirjoitettaessa. Muutama peruspiirre näyttää kuitenkin ilmeiseltä. Lähtökohtana oli aina ajatus, että Suomen kansalliset resurssit oli-

vat riittämättömiä huipputason tutkimukseen. Tavoitteeksi asetettiin sekä riittävän että laaja-alaisen asiantuntemuksen kehittäminen ja ylläpitäminen. Koulutustarve määritteli tutkimusrahoituksen minimitasoa, jota lähellä useilla osa-alueilla toimitettiin. Kansallisen rahoituksen puutetta tuli koettaa korvata kansainvälisen yhteistyön avulla.

VTT:ssa tutkimusrahoituksen vähäisyys yhdistettynä tutkimuksen jakautumiseen moneen yksikköön alkoi tuottaa yhä enemmän ongelmia 80-luvulla. Laboratorioiden ja jopa niiden tutkimusryhmien välille kehittyi ajoittain kiistoja määrärahojen jaosta. Yhdeksi ratkaisuksi luotiin VTT:n sisäiset tutkimusohjelmat. Ensimmäiset kansalliset tutkimusohjelmat käynnistettiin Suomessa 80-luvun puolivälissä. Ydinenergia -ala seurasi esimerkiksi 80- ja 90-lukujen vaihteessa.

■



Markku Anttila
Erikoistutkija
VTT
markku.Anttila@vtt.fi

Kansallisten ohjelmien aika

90-luvun alussa ryhdyttiin aiemmin erillisiä tutkimushankkeita organisoimaan useampivuotisiksi kansallisiksi julkisrahoitteisiksi tutkimusohjelmiksi. Ensimmäisinä olivat ydinjätepuolen ohjelma JYT 1989-1993 ja reaktoriturvallispuolen ohjelma YKÄ 1990-1994 ja rakenteellisen turvallisuuden ohjelma RATU 1990-1994, joita seurasivat JYT2 1994-1996, RETU 1995-1998 ja RATU2 1995-1998.

Ydinjätepuolella tutkimus jatkui JYT2001 1997-2001, KYT 2002-2005 ja nykyisellä KYT2010-ohjelmalla 2006-2010. Käyttöturvallisuuden ja rakenteellisen turvallisuuden tutkimus saatettiin yhteen reaktoriturvallisuuustutkimusohjelmaksi FINNUS 1999-2002.

Reaktoriturvallisuuustutkimus jatkui SAFIR -ohjelmalla 2003-2006 ja nykyisellä SAFIR2010-ohjelmalla 2007-2010.

Fuusiotutkimuksen osalta kansalliset ohjelmat ovat olleet FFUSION ja FFUSION 2 kattaen vuodet 1993-2002, FUSION 2003-2006. Nykyisin tutkimus jatkuu EURATOM Tekes fuusiotutkimusohjelmassa. Fuusiotutkimukselle on koko ajan ollut leimaa antavaa se, että valtaosa Suomessa tehtävästä alan tutkimuksesta kuuluu tutkimusohjelmiin. Toinen merkittävä piirre on ollut Tekesin ja teollisuuden voimakas rahoitusosuus.

Ydinjäte- ja reaktoriturvallisuuustutkimuksen osalta merkittävin rahoituksellinen muutos tapahtui vuoden 2004 alussa, kun KTM:n ja STUKin sekä voimayhtiöiden rahoitus yksittäisille hankkeille korvattiin lain mukaan voimayhtiöiltä Valtion Ydinjätehuoltorahaston erillirahastoon perittävällä VYR -rahoituksella. Reaktoriturvallisuuudessa julkinen ohjelma on tätä nykyä

luokkaa puolet alueen tutkimuksesta. Ydinjätepuolella pääosa tutkimuksesta on suoraan Posivan rahoittamaa ja julkinen ohjelma on arviolta kymmenesosa tutkimuspanoksesta. Oheinen taulukko ja graafi hahmottavat reaktoriturvallisuuuden ohjelmien rahoituskehitystä, jossa "aallonpohja" saavutettiin FINNUS -ohjelman aikaan. Uuden SAFIR2010 ohjelman vuoden 2007 volyymi 6,1 M euroa ja 44 htv indikoi varovaisen nousun jatkumista.

Miksi tutkimusohjelma?

Hallintobyrokraatin ja tulosten loppukäyttäjien näkökulmasta perustelut tutkimusohjelmalle ovat ilmeiset: halutaan saada aikaan toimiva kokonaisuus, välttää päällekkäisyyksiä, parantaa ohjausta ja dokumentointia, siis lyhyesti enemmän vähemmällä. Perustutkijan mielestä jokainen lomake

Research Programme	Size M €	Size Pers. Y.	Publications	Academic Degrees		
				Dr.	Lic.	Master
YKÄ 1990 - 1994	15,4	168	318	6	5	10
RATU 1990 - 1994	8,2	76	322	1	3	3
RETU 1995 - 1998 (OHA 1995 - 1998)	9,8 (0,5)	107 (5,5)	405	3	2	2
RATU2 1995 - 1998	7,5	60	280	3	4	11
FINNUS 1999-2002	14,4	130	564	6	2	18
SAFIR 2003 - 2006	19,7	148	545	6	1	17

SAFIR Safety of nuclear power plants - Finnish national research programme 2003-2006

Kansallisten tutkimusohjelmien rahoituskehitys sekä ohjelmien puitteissa tehdyt julkaisut ja suoritettut tutkimukset.

on turhaa kiusaa. Onnistuneessa ohjelmassa tämä 'kauhun tasapaino' tuottaa korkeatasoisia tuloksia.

Eri alueiden tutkimusohjelmille on 1990-luvun alusta lähtien tehty jonkinasteiset 'runkosuunnitelmat', niillä on ollut johtoryhmä, tukiryhmät tai vastaavat, muu ohjaus, vuosisuunnitelmat ja -kertomukset, puoliväli- ja loppuseminaarit.

Suomalainen tapa organisoida tutkimukset kolmen-viiden vuoden pituisiksi tutkimusohjelmiksi ei ehkä ole ainutlaatuista, mutta ainakin eurooppalaisessa mitakaavassa varsin poikkeuksellista.

Olennainen suomalainen piirre on, että kaikki loppukäyttäjät ovat mukana samassa ohjelmassa

Ainakin kolme viimeisintä reaktoriturvallisuuden tutkimusohjelmaa (FINNUS, SAFIR, SAFIR2010) ovat tulleet tunnetuiksi myös kansainvälisesti ja herättäneet kiinnostusta, mistä konkreettisimpana esimerkkinä ovat ulkomaiset osanotta-

jat eräissä nykyisen SAFIR2010 ohjelman hankkeissa.

Ajat muuttuvat

Sisällöllisesti reaktoriturvallisuuden tutkimusohjelmissa koottiin ensin saman aihepiirin tutkimukset omiin ohjelmiinsa, sitten yhdistettiin aihepiirit samaan ohjelmaan ja korostettiin hankkeiden välistä yhteistyötä (FINNUS), laajempaa alueiden välistä yhteistyötä (SAFIR) ja edelleen ns. poikkiteollista lähestymistapaa ja kansainvälisiä yhteyksiä (SAFIR2010).

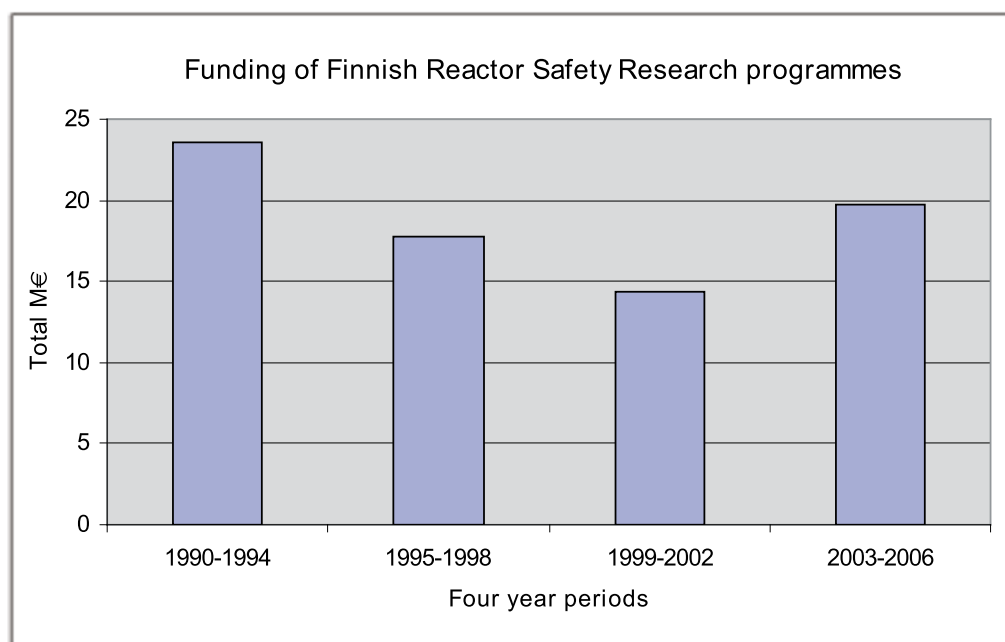
Samalla tutkimuksen tekijöiden joukko on laajentunut VTT:stä käsittämään muitakin toimijoita, kuten LTY, TTK ja Fortum Nuclear Services. Rahoituksessa merkittävimmät muutokset ovat tapahtuneet rahoituspohjassa ja hankkeiden vuosittaisessa kilpailuttamisessa hankehauissa.

Tutkimusohjelmat ovat muuttuneet parin vuosikymmenen aikana ympäröivän maailman muuttuessa. Tutkimusohjelma

on kuitenkin hidasliikkeinen, koska tutkittava aluekin on sitä, keskeiset tutkimustarpeet on huolellisesti kartoitettu ja tärkeänä tehtävänä on kouluttaa uusia osaajia, erityisesti nyt, kun eläköityminen kiihtyy ja toisaalta osaajien kysyntä kasvaa uusien hankkeiden myötä.

Tutkimusaiheiden pysyvyys ja hidas muutos on saanut osakseen arvostelua. On totta, että yhäkin niukka rahoitus ei salli uusien aiheiden mukaanottoa riittävässä määrin, kun samaan aikaan on turvattava ns. perusasioiden jatkuvuus. Toisaalta pysyvyys on osoitus hyvästä suunnittelusta ja vuosien myötä selkiytyneistä painopisteistä ja tarpeista. Jos tempoiltaisiin vuosittain tai ohjelmittain 180 asteen käänkösin, ei voitaisi puhua jatkuvuudesta ja tutkijatkin tuntisivat olonsa nykyistäkin turvatomammiksi.

TkT Eija Karita Puska
SAFIR2010
-tutkimusohjelman johtaja
VTT
eija-karita.Puska@vtt.fi



SAFIR Safety of nuclear power plants - Finnish national research programme 2003-2006

Tutkimusohjelmien kokonaisrahoitus neljän vuoden jaksossa.

Petri Kotiluoto

Uusi tietokoneohjelma varauksettomien ja varauksellisten hiukkasten etenemisen mallinnukseen

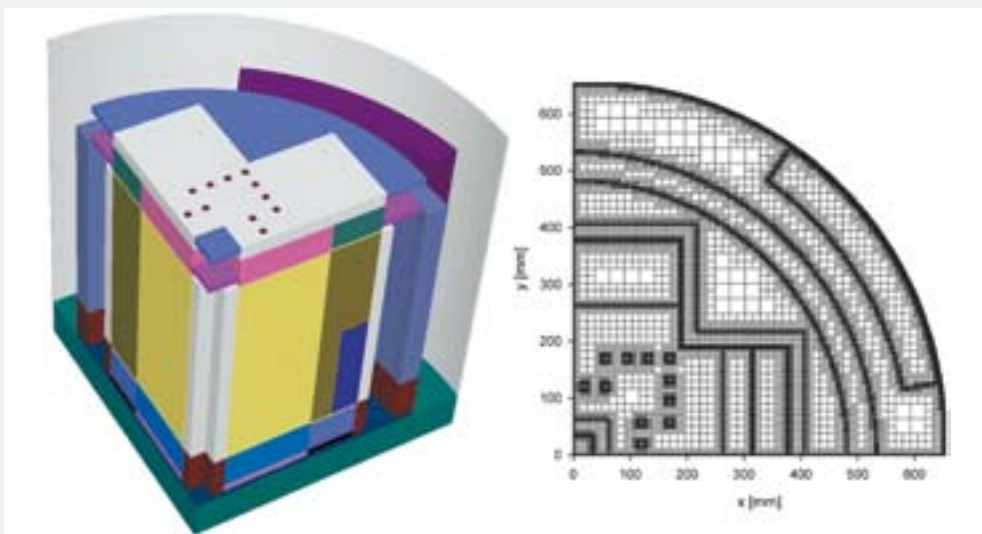
VTT Ydinenergian erikoistutkijan Petri Kotiluodon väitöskirja "Adaptive tree multigrids and simplified spherical harmonics approximation in deterministic neutral and charged particle transport" tarkastettiin lauantaina 9.6.2007 Helsingin yliopiston fysikaalisten tieteiden laitoksella Kumpulassa.

Väitös kuuluu sovellettuun fysiikkaan ja käsittelee neutronien, fotonien ja elektronien etenemisen mallintamista uudella deterministisellä menetelmällä. Vastaväittäjänä toimi professori **Kimmo Kaski** Teknillisestä korkeakoulusta ja väitöstilaisuuden valvojana professori **Juhani Keinonen** Helsingin yliopistosta.

Monissa sovelluksissa, joissa ollaan tekemisissä ionisoivan säteilyn kanssa, on ensiarvoisen tärkeää mallintaa säteilyn kulkeutumista väliaineessa. Reaktorifysiikassa on tärkeää varmistua kriittisyysturvallisuudesta, säteilysuojauksen riittävästä, määrittää oikein aktiivisuusinventaarit, laskea detektorivasteita sekä luotettavasti arvioida säteilyvauriot ydinturvallisuuden kannalta tärkeissä materiaaleissa ja komponenteissa. Myös

lääketieteellisen fysiikan puolella on määritettävä riittävällä tarkkuudella esimerkiksi potilaan sädehoidossa saama annos jotta taataan sekä hoidon onnistuminen että turvallisuus.

Säteilyn etenemisen numeeriset mallinnusmenetelmät voidaan jakaa deterministisiin ja stokastisiin menetelmiin, joista jälkimmäinen tunnetaan myös Monte Carlo -menetelmänä. Deterministisissä menetelmissä pyritään ratkaisemaan hiukkasvuo numeerisesti kulkeutumisyhtälöstä, kun taas Monte Carlo -menetelmässä simuloidaan yksittäisten hiukkasten ratoja. Deterministiset menetelmät ovat yleensä merkittävästi nopeampia mutta epätarkempia. Molempia menetelmiä on käsitelty väitöskirjan yhteenvedossa joka sisältää melko laajan yleiskatsauksen eri mallinnusmenetelmiin, olkoonkin että kyseessä on 5 osajulkaisuun perustuva ns. nippuväitöskirja. Väitöskirjatyö on tehty VTT:llä Otoniemessä, aluksi Tekes-hankkeena, Varian Medical Systems Finland Oy:n toimeksiantona sekä sittemmin osana ydinvoiman turvallisuustutkimusta.



CAD-malli VENUS-3-reaktorista (vasemmalla) ja poikkileikkaus mallia vastaavasta puumoniverkosta (oikealla).



Väitöspäivän iltana vietettiin juhlallinen karonkka Katajanokan kasinolla: kuvassa vasemmalta VTT:n tutkimusprofessori emeritus Pekka Hiismäki (joka oli toinen työn ohjaajista), vastaväittäjä professori Kimmo Kaski, väittelijä itse sekä kustos, professori Juhani Keinonen.

MultiTrans-ohjelma

Uudella väittelijän kehittämällä deterministisellä MultiTrans-ohjelmalla voidaan mallintaa säteilyn eteneminen mielivaltaisessa 3D-geometriassa. Laskenta-geometria tuotetaan CAD-mallista, mikä antaa mahdollisuuden käyttää moderneja suunnittelutyökaluja. Myös segmentoituja tietokonetomografiakuvia on mahdollista käyttää geometrian luomisessa, mikä mahdollistaa lääketieteelliset sovellukset.

Laskentaverkko tarkentuu puumaisesti materiaalien rajapinnoilla, joissa hila muodostuu automaattisesti hienojakoisimmaksi. Näin monimutkainenkin geometria voidaan kuvata yksityiskohtaisesti merkittävästi pienemmällä hilapisteiden määrällä verrattuna tasajakoiseen hilaan.

Laskentaverkon puumaisuuden ansiosta ongelmalle on aina löydettävissä myös karkeammat hilakuvaukset. Tällöin kulkeutumisyhtälön iteratiivisessa ratkaisussa voidaan käyttää moniverkkotekniikkaa, jossa ongelma ratkaistaan ensin hyvin karkealla tasolla. Tätä kuvausta käytetään alkuarvauksena yhä hienojakoisemmille hiloille, mikä nopeuttaa huomattavasti laskentaa. Laskentaverkon puumaisuus ja sen myötä hilapisteiden vähäisempi määrä nopeuttavat myös ratkaisun löytymistä. Kyseessä on tietävästi ensimmäinen puumoniverkkotekniikan sovellus säteilyn etenemisen mallinnukseen.

Ohjelman kelpoistaminen

Ohjelman varmentamisella ja kelpoistamisella tarkoitetaan laskettujen tulosten vertaamista mittauksiin tai muilla ohjelmilla laskettuihin tuloksiin. MultiTrans-ohjelmaa on testattu erilaisten sädehoitojen, esimerkiksi VTT:n Otaniemen ydintutkimusreaktorilla annettavan boorineutronikaappaushoidon (BNCT), sekä reaktorifysiikan laskentaongelmiin. Näitä erilaisia uuden ohjelman varmentamiseksi ja kelpoistamiseksi tehtyjä vertailulaskuja on käsitelty väitöskirjan osajulkaisuissa.

Reaktorifysiikan puolella tärkeimpiä testitapauksia ovat olleet VENUS-2- ja VENUS-3-reaktorit. VENUS on Belgiassa sijaitseva nollatehoreaktori jota on käytetty erilaisten kevytvesireaktorisydänlatausten tutkimukseen. Erilaisille polttoainelatauksille on paljon mittaustietoa ja niille on tehty kansainvälisiä vertailulaskuja eri ohjelmilla OECD/NEA:n virallisina testitapauksina. Esimerkiksi VENUS-2-testitapauksessa on tutkittu MOX-polttoaineen käyttäytymistä.

Vuonna 2004 käynnistettyyn NEA:n sokkolaskentatehtävään osallistui kaikkiaan 12 ryhmää ympäri maailman, mukaan lukien VTT MultiTrans-, TORT- ja MCNP-ohjelmilla. Vastaavasti VENUS-3-testitapauksessa on tutkittu puolipitkien polttoaine-elementtien vaikutusta neutronivuohon. Tällaiset elementit tekevät reaktorin mallinnuksesta hyvin kolmidimensioisen ongelman, eikä perinteisillä 2D-menetelmillä saa riittäviä tuloksia. MultiTransilla las-

ketut tulokset ovat osoittautuneet VENUS-testitapauksissa varsin vertailukelpoisiksi, varsinkin sydänalueella tai tämän läheisyydessä.

Kehitysnäkymiä

Tällä hetkellä uuden MultiTrans-ohjelman lupaavimmalta sovelluskohteelta näyttäisi juuri reaktorifysiikka. Ohjelmaa voisi mahdollisesti käyttää reaktorisydämen neutroniikan aiempaa tarkempaan kuvaukseen reaktorianalyyssissä tai homogenisoitujen vaikutusalojen generoimiseen reaktorisimulaattorikoodeille. Ongelmaksi on jossain määrin osoittautunut säteilyn kulkeutumisyhtälölle käytetty yksinkertaistettu palloharmoninen kehitemä, jonka tarkkuus ei kaikissa tapauksissa vastaa asetettuja vaatimuksia. Erityisesti tiheydeltään harvat alueet ovat ongelmallisia.

On kuitenkin syytä korostaa, että käytetty SP3-approksimaatio on joka tapauksessa diffuusioyhtälöä tarkempi kuvaus säteilyn etenemiselle. Etenkin neutronien kulkeutumisen mallinnuksessa MultiTrans on osoittautunut toimivaksi ratkaisuksi. Jatkossa on silti tarkoitus edelleen tutkia mahdollisia tarkempia kehitemiä ja niiden soveltamista.

FT Petri Kotiluoto
Erikoistutkija, tiiminvetäjä
VTT, Ydinenergia
petri.kotiluoto@vtt.fi



Jaakko Leppänen

Uuden Monte Carlo -reaktorifysiikkakoodin kehittäminen

Ydinreaktorin toiminta perustuu fissioneutronien ylläpitämään ketjureaktioon. Neutronin elinkaari fissiosta toiseen on monimutkainen tapahtumaketju, erityisesti kevytvesireaktoreissa, joissa neutronit hidastetaan eli moderoidaan polttoainesauvoja ympäröivässä vesialueessa.

Neutronit syntyvät korkealle energialle, ja hidastuvat elastisissa törmäyksissä vety-ytimien kanssa. Hidastuminen on vaiheittainen prosessi, joka kattaa energia-alueen useista megaelektronivolteista muutamaa kymmeneen millielektronivolttiin. Suhteellisena nopeuden muutoksena tämä vastaa suunnilleen kiväärinluodin hidastumista kilpikonnan kävelyvauhtiin.

Neutroni kulkeutuu reaktorin sydämessä keskimäärin useita kymmeniä senttimetrejä, ja tässä mittakaavassa reaktorin rakenteen monimutkaisuus tulee selvästi esiin. Polttoaineen, moderaattorin, sekä suojakuoren ja muiden tukirakenteiden neutroniikkaominaisuudet poikkeavat huomattavasti toisistaan.

Polttoaineen koostumus myös muuttuu palaman kasvaessa käyttöjakson aikana. Eri vuorovaikutusten todennäköisyydet riippuvat voimakkaasti neutronin energiasta: uraanin 238-isotopin resonanssialueella neutronikaappausreaktion todennäköisyys saattaa yksittäisen sirontareaktion aiheuttaman energiamuutoksen seurauksena kasvaa kymmenentuhatkertaiseksi.

Reaktorin mallinnus etenee vaiheittain

Kaikkien kevytvesireaktorien toiminnalle on ominaista reaktorisydämen neutroniikan ja jäähdytysveden virtauksen välinen voimakas kytkentä. Virtauksen muutoksesta aiheutuvat veden tiheyserot vaikuttavat suoraan neutronien hidastumiseen, ja neutronien energiaspektrin ja populaation tiheyden kautta fissiojakaumaan polt-

toaineessa. Muutokset fissiotehojakaumassa puolestaan vaikuttavat polttoainesauvojen pinta-lämpötilaan, ja sen kautta jäähdytysveden virtaukseen. Ydinreaktorin toiminnan mallintaminen vaatiikin sekä neutronien kulkeutumisen että jäähdytysveden virtauksen samanaikaista ja kytkettyä kuvaamista.

Neutronivuorovaikutusten monimutkaisesta paikka-, suunta- ja energiariippuvuudesta johdettujen ongelmia on lähestyttävä vaiheittain. Laskenta etenee yksittäisten vuorovaikutusten fysiikasta aina neutroniikan ja termohydrauliikan kytkennän mallintavaan kokosydänaskuun asti. Jokaiselle vaiheelle on kehitetty omat laskentakoodinsa, joilla neutronifysiikan mallinnuksessa siirrytään aina yksityiskohtaisemmasta kuvauksesta karkeampaan ja yksinkertaisempaan suuntaan. Samalla tarkasteltavan geometrian mitta-kaava kasvaa.

Reaktorin kokonaiskäyttäytymisen mallintaminen on tärkeää erityisesti polttoaineen käytön suunnittelussa ja turvallisuusanalyyseissä. Laskuissa käytettävät reaktorisimulaattorikoodit perustuvat tyypillisesti nodaalidiffuusiooteoreettisiin menetelmiin, missä geometria on kuvattu laajoina homogeenisina materiaali-alueina ja neutronien energiariippuvuus muutamalla energiaryhmällä.

Nippupalamakoodi mallintaa yksittäistä polttainenippua

Simulaattorikoodien syöttöparametrit, nk. homogenisoidut moniryhmävakiot, tuotetaan laskentaketjun keskimmaisessa vaiheessa deterministisillä nippupalamakoodilla. Yksittäinen polttoainennippu kuvataan äärettömässä hilassa identtisten kopioidensa ympäröimänä. Kun lasku toistetaan kaikille nipputyypeille kaikissa reaktorin toimintaolosuhteissa, saadaan joukko reaktorifysiikkaisia parametreja, joita voidaan käyttää reaktoris-

dämen kokonaiskäyttämisen mallintamiseen.

Kaikille deterministisille laskentamenetelmille on yhteistä neutronipopulaation kuvaaminen matemaattisen tiheysfunktion, neutronivuon, avulla. Menetelmän tarkkuus riippuu laskennassa tehdyistä approksimaatioista, ja deterministiset koodit antavat tyypillisesti hyviä tuloksia juuri niissä sovelluksissa mihin ne on tarkoitettu.

Nykyiset polttoainennippukoodit on suunniteltu pääasiassa toisen sukupolven kevytvesireaktoritekniiikan tarpeisiin, ja siirryttäessä korkeampiin palamiin, monimutkaisempiin nipputyyppeihin ja kehittyneisiin sekaoksidipolttoaineisiin, liikutaan helposti koodien pätevyysalueen rajoilla. Deterministisillä kevytvesireaktorikoodilla ei myöskään voida mallintaa muita, tulevaisuuden kannalta mielenkiintoisia reaktorityyppejä. Ydintekniikan kehitys vaatii siis kehitystä myös laskennan työkaluissa.

Vaihtoehtoinen lähestymistapa: Monte Carlo

Determinististen laskentamenetelmien lisäksi ydinreaktoreiden neutroniikkaa mallinnetaan stokastisilla Monte Carlo -koodilla. Matemaattisen vuokäsitteen asemesta Monte Carlo -menetelmässä simuloidaan yksittäisten neutronien kulkeutumista reaktorissa. Neutronin elinkaaren jokainen vuorovaikutus kuvataan yksityiskohtaisesti, arpomalla tuloksia koikkeellisiin mittauksiin ja teoreettisiin ydinmalleihin perustuvista todennäköisyysjakaumista. Neutronipopulaation kokonaiskäyttämistä saadaan simuloitua

toistamalla lasku suurelle määrälle lähde-neutroneita.

Monte Carlo -menetelmän tärkeimpiä etuja ovat sen tarkkuus ja monipuolisuus. Laskennassa on mahdollista hyödyntää suoraan parasta olemassa olevaa tietoa neutronien vuorovaikutuksista, ja samaa laskentakoodia voidaan käyttää periaatteessa mihin tahansa sovellukseen. Monte Carlo -koodia käytetään laajasti kriittisyysturvallisuusanalyysiin, säteilysuojelu- ja annosnopeuslaskentaan sekä determinististen laskentakoodien kelpoistamiseen.

Vaikka menetelmä soveltuu erityisen hyvin rinnakkaislaskentaan, rajoittavana tekijänä on edelleen laskennan hitaus. Monte Carlo -pohjaisen neutroniikkarakaisijan käyttö kytketyissä simulaattorisovelluksissa on periaatteessa mahdollista, joskin äärimmäisen epäkäytännöllistä nykyisillä laskentatehoilla.

Monte Carlo -menetelmää on kuitenkin mahdollista soveltaa reaktorin toiminnan mallinnuksessa myös laskentaketjun keskimmäiseen vaiheeseen, eli simulaattorikoodien syöttöparametrien tuottamiseen. Menetelmän käyttö tuo mukanaan sen tärkeimmät edut: tarkkuuden ja erityisesti monipuolisuuden, kun samaa koodia voidaan käyttää minkä tahansa polttoaine- tai reaktorityypin mallintamiseen. Samalla koko laskentaketju lyhenee ja yksinkertaistuu, kun osa determinististen polttoainennippukoodien vaatimista approksimaatioista voidaan ydinvakiodatan esikäsittelyvaiheessa jättää pois.

Moniryhmävakioiden laskeminen Monte Carlo -menetelmällä ei ole ajatuksena uusi, joskin sen toteuttamista on sel-

västi rajoittanut tietokoneiden riittämätön laskentakapasiteetti. Laskenta vaatii lisäksi tiettyä erikoistumista, eikä parhailakaan yleiskäyttöisillä koodilla pysty laskemaan kaikkia simulaattorilaskussa tarvittavia suureita. Erityisen ongelman muodostaa reaktoritekniiikan peruskursseiltakin tuttu neutronien diffuusiokerroin, jonka laskeminen vaatii neutronivuorovaikutusten tarkkaan kuvaukseen perustuvan Monte Carlo -menetelmän ja approksimaatioon pohjautuvan diffuusioteorian yhdistämistä.

Koodinkehitys lähti liikkeelle harrastuspohjalta

Ajatus omasta Monte Carlo -koodista syntyi juuri diffuusiokertoimen laskemisesta. Työnimellä "PSG" kulkevan koodin kehitys lähti liikkeelle harrastuspohjalta syksyllä 2004, ja ensimmäiset vertailukelpoiset tulokset saatiin alkuvuodesta 2005. Samoihin aikoihin projekti siirtyi osaksi VTT:n tutkimusohjelmaa. Aihe loi myös sopivan pohjan väitöskirjalle, joka eteni luontevasti työn ohella.

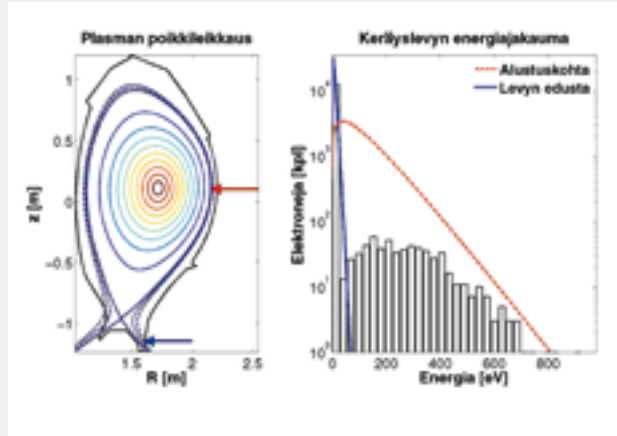
PSG:n käyttö on toistaiseksi rajoittunut lähinnä väitöstutkimusta varten tehtyihin vertailulaskuihin, joskin koodia ollaan parhaillaan soveltamassa mm. neljännen sukupolven reaktoreiden mallinnukseen. Tulokset ovat parantuneet tasaisesti kehityksen myötä, ja uusia kehityskohteita riittää vielä pitkälle tulevaisuuteen. ■

TkT Jaakko Leppänen
tutkija
VTT
jaakko.leppanen@vtt.fi



Leena Aho-Mantila

Terminen tasapaino tokamakplasman kuorintakerroksessa



plasman tehoiteisuus on ITER-relevanttia suuruusluokkaa.

Diplomityössä tutkittiin termalisoituvatko ASDEX Upgraden kuorintakerrokseen saapuvat elektronit ennen keräyslevyille iskeytymistään. Elektronit eivät suoranaisesti vahingoita materiaaliapintoja, mutta ne vaikuttavat reunaplasman koostumukseen ja siellä vallitsevaan sähkökenttään, voimistaen mahdollisesti ionien vuorovaikutusta seinämämateriaalin kanssa. TKK:n

Energiantuotantoon soveltuvan fuusioreaktorin kehittäminen on maailmanlaajuinen haaste, johon pyritään löytämään ratkaisu vielä tämän vuosisadan alkupuoliskolla. Suomi on Euratom-TEKES-assosiaation myötä mukana eurooppalaisessa fuusioyhteistyössä (EFDA), jonka tavoitteena on kehittää magneettiseen koossapitoon perustuvaa tokamak-fuusioreaktoria. Teknillisessä korkeakoulussa tehdyssä diplomityössä mallinnettiin ASCOT-simulaatiokoodin avulla tokamak-plasman uloimmissa kerroksissa liikkuvien elektronien käyttäytymistä. Työ tapahtui yhteistyössä saksalaisen IPP-tutkimusinstituutin ja suomalaisen CSC-laskentakeskuksen kanssa.

Tokamak-plasman reuna- eli kuorintakerrokseksi kutsutaan aluetta, jossa plasman keskustasta tarpeeksi etäälle kulkeutuneet varatut hiukaset ohjataan magneettisia kenttäviivoja pitkin suuria lämpökuormia sietäville keräyslevyille. Reunakerros on erityisen mielenkiintoinen tutkimuskohde, koska siellä kuuma fuusioplasma kohtaa kylmät seinämärakenteet ja voimakkaat lämpötila- ja tiheysgradientit saattavat johtaa plasman termiseen epätasapainoon. Lisäksi plasma vuorovaikuttaa voimakkaasti seinämäpintojen kanssa, mikä on otettava huomioon reaktorin materiaalivalinnoissa. Suuri osa reunaplasmaan liittyvästä kokeellisesta työstä tapahtuu tällä hetkellä IPP:n ASDEX Upgrade -tokamakilla, jossa

ASCOT-koodissa on elektronien mallintamiseen tehokkaita numeerisia työkaluja: magneettikentän vaikutus elektronien ratoihin saadaan integroimalla liikeyhtälöitä paikka- ja nopeusavaruudessa, minkä lisäksi jäähtymisprosessille olennaisen Coulombin törmäysten vaikutusta hiukasten liiketiloihin voidaan mallintaa Monte Carlo -menetelmään pohjautuvien operaattorien avulla. Diplomityön myötä ASCOT-koodia kehitettiin otamaan huomioon myös reunaplasman tyypillisiä ilmiöitä.

ASCOT-simulaatioilla saatiin selville, ettei keskusplasmasta kulkeutunut elektronijoukko ehdi täysin termalisoitua keräyslevyn edustalla vallitsevaan lämpötilaan. Termistä tasapainoa kuvaavan Maxwell-Boltzmann-energiajakauman sijaan levyillä havaitaan merkittävä määrä törmäyksettömiä, kuumia elektroneja. Tulosten mukaan reunaplasman poikkeaminen termisestä tasapainosta saattaa olla niin suurta, että se voi vaikuttaa kokeellisiin mittauksiin ja heikentää plasman globaalissa mallinnuksessa käytettävien menetelmien toimivuutta.

Kuvassa; ASCOT-simulaatioilla tutkittiin elektronien käyttäytymistä niiden karattua keskusplasmasta punaisen nuolen osoittamasta kohdasta, kunnes ne saapuivat sinisellä nuolella merkitylle keräyslevylle. Histogrammi levyllä havaituista energioista kertoo, että suurin osa elektroneista termalisoituu kylmään taustajakaumaan (sininen käyrä), mutta osa jää kuumaan alkujakauman (punainen käyrä) mukaisille energioille.

DI Leena Aho-Mantila
Tutkija
Teknillinen korkeakoulu (TKK)
Teknillinen fysiikka – Energiatieteet
leena.aho-mantila@tkk.fi





NUCLEAR SERVICES

www.tvons.fi

Ydinosuamista

TAPRO
ENGINEERING

PALVELUJA VOIMALAITOS- PROJEKTEIHIN

ON SITE PROJECT MANAGEMENT
AND SUPERVISION

More information:
www.tapro.fi

- toimitusvalvontaa
- laadunvalvontaa
- asennusvalvontaa
- käyttöönottoa

Rahvas oppii historiasta

Historiasta voi oppia paljon. Viikkolehdistä voimme lukea, kuinka julkkikset korostavat itsekeskeisesti elämänvaiheitaan: nuoruuden kapinaa, parin valintaa ja äidiksi tai isäksi tulemistä. He ovat hukanneet tiedon historian jatkumosta: tätä kaikkea on tehty sukupolvien ajan, myös isämme ja äitimme ovat selvinneet eri elämän vaiheistaan, jopa ilman turhaa itsekorostusta. Kansojen historiasta voi havaita, että yli-mielinen yläluokka: aateliset, kuninkaat ja keisarit eivät useimmiten opi edellisen sukupolven virheistä ja joutuvat yhä uudestaan oman valtapelinsä uhreiksi.

ENSIMMÄINEN SÄHKÖNTUOTANTOON tarkoitettu ydinreaktori saavutti kriittisyyden kesäkuussa 1954 Neuvostoliitossa, Obninskissa lähellä Moskovaa. Vastaavasti vuonna 1956 Calder Hallissa, Englannissa aloitti toimintansa ensimmäinen kaupallinen ydinvoimala ja heti perään vuonna 1957 käynnistyi ensimmäinen yhdysvaltalainen ydinvoimalaitos. Suomessa maamme ensimmäinen ydinvoimalaitos rakennettiin Loviisaan 1970-luvulla. Suomalaiset ydinvoima-asiantuntijat eivät luottaneet neuvostoliittolaisiin tekniikka- ja turvallisuusratkaisuihin.

Koneita ja kulutustavaroita ostaneet suomalaiset olivat huomanneet naapurin tuottavan tuotantoennätysten loppuun laadultaan naurettavan huonoja tuotteita. Suomalaiset insinöörit tiesivät, että *laadunvalvonta ei ole pelkkiä numeroita ja tilastoja, vaan pitkälti myös tahtoa ja huolellisuutta*. Tuolloin ydinvoimalaitos puristettiin suurella vaivalla ja valtavalla insinööriyöllä suomalaisten turvallisuus- ja laatumääräysten mukaiseksi. Loviisan voimalaitoksesta tuli esimerkki idän ja lännen ”yhteistyöstä” sekä malli entisen Neuvostoliiton seuraaville VVERTyyppisten laitosten turvallisuusratkaisuille.

LOVIISAN VOIMALAITOSPROJEKTISSA koettiin aikanaan kaikki nykyistä vastaavat ongelmat: hankkeen monimutkaisuus, aikataulujen pettäminen

sekä uuden tekniikan ymmärtämisen ongelmat. Samoihin aikoihin Olkiluodon ydinvoimalaitokset saatiin tilattua Ruotsista, jossa osaamisensa huipulla oleva Ruotsin ydinvoimateollisuus halusi näyttää vientilaadun tekemisen olevan hallussa. Vain vähän myöhästymistä kärsineen Olkiluodon ensimmäisten yksiköiden rakentamisen hyvä onnistuminen loi ehkä myös illuusion turvallisuutta ja laatua painottavan ydinvoimahankkeen helpoudesta.

AJAN TRENDJÄ seuraavat yritykset muuttavat historianansa tarinaksi, jolla henkilökunta yritetään kiinnittää yrityksen arvoihin – näin annetaan toiminnalle suurempi tarkoitus. Yrityksen tarinalla pyritään myös luomaan luolayhteiskunnasta periytyvä turvallisuuden tunne: jokainen työntekijä on osa historiallista jatkumoa. Ydintekniikan uusi tuleminen ilmastomuutoksen myötä synnyttää luonnostaan vastaavan ydinvoiman historiallisen tarinan.

Elämme historiallisia aikoja ja ruotsalaiset päivälehdet kirjoittavat Suomen ydinvoimaratkaisusta: ”Suomi osoittaa tietä voimaan”. Moni ruotsalainen uskoo Suomen ratkaisun symboliseen merkitykseen ja odottaa yleisen mielipiteen muuttumisen Suomessa ennakoivan samaa myös Ruotsissa. Myös muualla Euroopassa ja USA:ssa Suomen päätös aiheuttaa heijastusvaikutuksia ja ydintekniikan hankkeet käynnistyvät useissa maissa. Ydinvoiman tie näyttää ruusuilla tanssimiselta, mutta kolumnin alun ajatusta jatkaen toivon, että me Suomen ydinvoima-alan toimijat emme kuulu yläluokkaan.

YLÄLUOKASTA MUISTUU mieleen nykypäivän aateliset: poliitikot. Kansanedustajilla on norsun täysistuntolihakset, mutta vain hyttysen muisti: nyt he paheksuvat uuden ydinvoimalaitosyksikön myöhästymisestä johtuvaa sähkön hinnan nousua. Ei eduskunnassa tai hallituksessa tarvitse etsiä kaukaa henkilöitä, jotka estivät uuden yksikön rakentamisen jo 90-luvun alussa. Tuolloin rakentamistakaan ei olisi tarvinnut harjoitella, kun 80-luvun alun käytännön osaaminen ei olisi ehtinyt rapistua.

Monet poliitikot toteuttavat vain osteripolitiikkaa: he keskittyvät valvomaan kansalaisia oman ajattelun sijaan – osterin silmähän on tunnetusti sen aivoja suurempi.

VARSINAISESTA RAKENTAMISESTA, Olkiluoto 3 -projektista, ei ole paljon sanomista. Projektin työskentelystä on onneksi tehty hauska TV-mainos, jossa näytetään, kuinka suomalainen viiden asteen insinööritaito ja ranskalainen intohimoinen osaaminen kohtaavat. Mainoksessa aivan oikein annetaan ymmärtää, että yksi kansakunta ei voi olla mestari kaikessa.

TÄNÄ VUONNA Suomeen saatu uusi ydinvoiman yrittäjä, Fennovoima, on selvästi lukenut historiansa. 1860-luvun lopulla fennomaanit aloittivat ruotsinkielisiä piirejä hätkäyttävät oopperahankkeensa ja saivat aikaan muutaman kalliin oopperaesityksen, mm. suomenkielisen Verdin Trubaduurin. Suomalainen ooppera osoittautui tuolloin liian kalliiksi ja vaikeaksi hankkeeksi ja se kaatui taloudellisiin vaikeuksiin jo noin kymmenen vuoden jälkeen. Nähtäväksi jää, onko näyttävästi aloittaneella fennomaanisella ydinvoimalla sama kohtalo.

PROJEKTIOSAAMISESTA KERTOO myös tarina, jossa ydinvoimaprojektin insinööri palasi eräältä lukuisista työmatkoistaan ja löysi vaimonsa sängystä vieraan, varsin epäsiistiltä vaikuttavan miehen kanssa. Mies kysyi vaimoltaan: "Mitä tämä tarkoittaa? Kuka tämä pummi on?"

Vaimo vastasi: "Olen aina pyrkinyt olemaan rehellinen ja antelias. Niinpä en voinut muuta, kun tämä mies tuli niin sääliä näköisenä ovelle ja kysyi: 'Rouva, olisiko teillä antaa minulle jotain sellaista, jota miehelleni ei enää tarvitse ja käytä?'"

Olli Nevander
Teollisuuden Voima Oy

TAPAHTUMAKALENTERI

Syysseminaari 26.10.2007, Hotelli Linna, Helsinki

Aiheena safeguards-asiat ja tulevaisuuden polttoainekierrat
Kutsu jäsenpostissa.

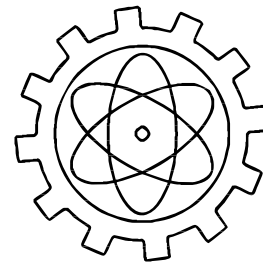
Lisätietoja: Juha Poikolainen (juha.poikolainen@tvo.fi)

Jäsenkokous viikolla 48, Tieteiden talo, Helsinki

Aiheena ionisoimattoman säteilyn käyttö ja terveysvaikutukset
Kutsu jäsenpostissa.

Lisätietoja: Yrjö Hytönen, (yrjo.hytonen@stuk.fi)

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



UUDET JÄSENET

Varsinaiset jäsenet

- Jarkko Laukkanen
Teollisuuden Voima
- Reijo Pesonen
Fortum Power and Heat

Nuoret jäsenet

- Ville Hovi
Lappeenrannan teknillinen yliopisto
- Joonas Kurki
Teknillinen korkeakoulu
- Sampsa Lauerma
Teknillinen korkeakoulu
- Janne Liuko
Teknillinen korkeakoulu
- Antti Tahvanainen
Valtion teknillinen tutkimuskeskus

Suomen Atomiteknillisessä Seurassa oli 14.9.2007 pidetyn johtokunnan kokouksen jälkeen 487 varsinaista jäsentä ja 15 nuorta jäsentä eli opiskelijaa. Kunniajäseniä oli 12 ja kannatusjäseniä 17. Seuran jäseneksi pääse johtokunnan hyväksymällä hakemuksella. Hakemukseen tarvitaan kahden jäsenen suositus.

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

SUOMEN
ATOMITEKNILLINEN
SEURA —

ATOMTEKNISKA
SÄLLSKAPET
I FINLAND ry



Palautus
Suomen Atomiteknillinen Seura
c/o VTT (Lämpömiehenkuja 3A)
PL 1000
02044 VTT

Kannatusjäsenet

Alstom Finland Oy
Fennovoima Oy
Fintact Oy
Fortum Oyj
Patria Finavitec Oy
Platom Oy
Pohjolan Voima Oy
Posiva Oy
PRG-Tech Oy
Pohjoismainen Ydinvakuutuspooli
PrizzTech Oy
Rados Technology Oy
Saanio & Riekkola Oy
Siemens Osakeyhtiö
Teollisuuden Voima Oy
TVO Nuclear Services Oy
Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT
YIT Installaatiot

ATS internetissä:

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