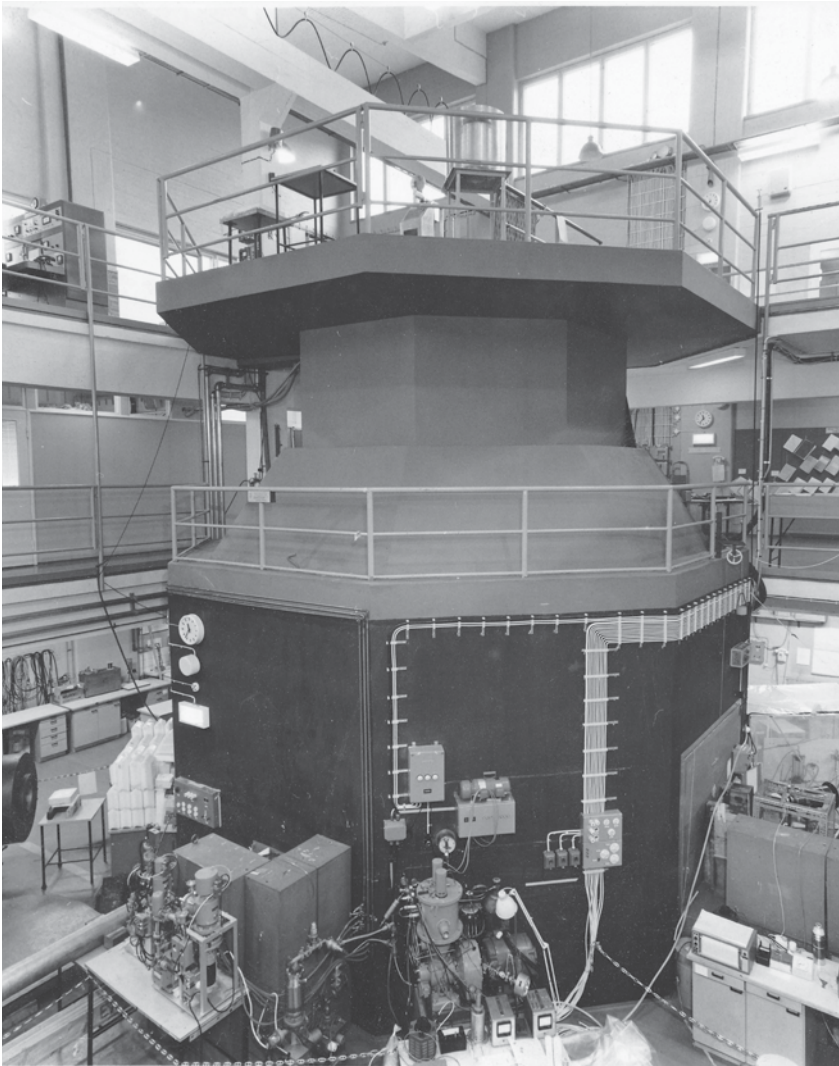


ATS Ydintekniikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA - ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND RY

3  2012 vol. 41



Tässä numerossa:

- 3** Pääkirjoitus: Seniorit asian ytimessä
- 4** Editorial: Nuclear Seniors in Core Business
- 5** Tapahtumia
- 6** Tutkimusreaktori FiR 1:n historiaa
- 9** Triga ja Minä
- 10** Ajanmukainen tekniikka tuottaa turvallisuutta ja tuloksia
- 13** Posivan rakentamislupahakemus tuo vanhoja muistoja mieleen
- 16** TVO:n uraania ja uraanin pioneereja
- 21** Miltä SECURE näyttäisi tänään?
- 24** Diplomityö
- 25** Reaktorin laidalla
- 26** Yhteystiedot
- 27** ATS:n uudet jäsenet

**ATS-Seniorit:
organisaatorajat ylittävää
osaamisen siirtoa**

Päätoimittajalta

Syysurakka alkaa olla voiton puolella. ATS Ydintekniikka 3/2012 on saatu valmiiksi.

Tämä numero on ollut erityisen mieluista koota. Kirjoittajat ovat tehneet vuosikymmenten uran ydintekniikan parissa. He ovat alan tunnettuja persoonia, joilla on läpi vuosien ollut vahva ja innovatiivinen ote omaan työhönsä. Ja kuten teksteistä huokuu, haasteita ei ole puuttunut.

Olen tottunut tuntemaan tämän lehden kirjoittajat tarkkoina, tieteellisesti suuntauneina asiantuntijoina, joita he omassa leipälajissaan eittämättä ovat ja joutuvat syystäkin olemaan.

Mutta kun tutustumaan päästään, kuten näiden tekstien kautta huomaatte, niin hauskat, luovat ja soveltavat persoonat puskevat vahvasti esiin. Omistautuneisuutta ja luovuutta on vaadittu, kun ydinalan toimintoja on rakennettu. Kiitos teille, Seniorit! Esittelyitä jouduin tyypistämään.

Reaktori-insinöörin pakinat ovat yhtä lailla riemastuttavia lukukokemuksia kerta toisensa jälkeen.

Tämä numero on hersyvä ja persoonallinen katsaus seu-

ramme jäsenistöön ja vuosikymmenten aikana rakennettuun asiantuntemukseen. Merkittävä osa siitä liittyy viestinnällisiin valmiuksiin ja kirjoitustaitoon.

Ydinalalla lähes joka jeppe on tottunut tekstintuottaja. Päätoimittajan ja laitostiedottajan näkökulmasta tämä on kerta toisensa jälkeen ihanaa ja palkitsevaa havaita.

ATS Ydintekniikasta ilmestyy vielä yksi numero tämän vuoden vuosikertaan. Ekskursionumero kootaan vuoden loppuun mennessä ja se kolahtaa postilaatikoista viimeistään heti vuodenvaihteen jälkeen. Siihen saakka hauskaa pikkujoulu- ja pyhäpäiväsumaa kaikille.

Toivovat, Anna-Maria ja muu toimituskunta.



Syksyn kuva



Otaniemen tutkimusreaktorin viisi vuosikymmentä

1960-luku

FiR 1 käynnistyi 27.3.1962 Otaniemessä tutkimuksen, koulutuksen ja isotooppi-tuotannon tarpeisiin. Erityissovelluksena määritettiin mm. kuusta tuotujen näytteiden alkuainekoostumuksia.

1970-luku

VTT:n neutroniaktiivointianalysiosaa-mista hyödynnettiin Suomen maaperä-kartoituksessa ja malminetsintänäytteiden analysoinnissa.

1980-luku

Reuman ja luuydinsyövän hoitoa varten kehitetyn radiofarmasiaosaamista. Kaksi merkittää VTT:n spin-off-yritystä perustettiin radiofarmasian ja teollisuuden merkkiaineosaamisen ympärille.

1990-luku

VTT:n tutkimusreaktoria uudistettiin epitermiseksi neutronisädehoitoasemaksi, jolla hoidettiin koti- ja ulkomaisten potilaiden kallon sisäisiä kasvaimia. Uuden yrityksen NC-Hoito Oy:n ensimmäinen potilas hoidettiin vuonna 1999.

2000-luku

NC-Hoito Oy muuttui Boneca Oy:ksi, Hoitoja annettiin myös pään ja kaulan alueen syöpiin. Fuusioreaktoreiden antureita testisäteilytetään reaktorissa.

2010-luku

Boneca Oy ajautui konkurssiin tammi-kuussa 2012. Neuvotteluista huolimatta toiminnalle ei löytynyt jatkorahoitusta. Reaktori päätettiin sulkea kesällä 2012.

Kansikuva, kuva ja pohjateksti: VTT.

Seniorit asian ytimessä

Olin 1990-luvun puolivälissä ENC-kokouksessa Lyonissa. Eräs ohjelmaan kuuluneista istunnoista käsitteli ydinalan young generationia. Muistan useiden suomalaisten olleen hämmästyneitä, kun amerikkalainen puhuja totesi young generationin tarkoittavan baby boomereita, siis sodanjälkeisiä suuria ikäluokkia. Me suomalaiset suurten ikäluokkien edustajat emme pitäneet itseämme enää nuorina 1990-luvulla. Sen sijaan olemme nyt 2010-luvulla kiistatta eturintamassa old generationista puhuttaessa.

Kuulumme siihen ikäluokkaan, jonka edustajat ensimmäisenä alkoivat työskennellä ydinalan eri organisaatioissa 1970-luvulla. Toki ennen meitäkin alalla oli pioneerityötä tehneitä ja alan kehitykseen vahvan jälkensä jättäneitä henkilöitä, jotka ovat siirtyneet old generationiin jo vuosia sitten. Alan toimintaan eläkkeelle jäävien lukumääränä vaikuttavat oleellisesti kuitenkin vasta eläköityvät suuret ikäluokat.

Suomen ydinteknisen alan kehitys on onneksemme mahdollistanut varautumisen kokeneiden asiantuntijoiden eläkkeelle siirtymiseen. Kymmenen vuotta sitten alkanut ydinvoiman renessanssi aiheutti sen, että alalle voitiin palkata paljon uutta työvoimaa ennen eläkeläisboomia. Kuluneiden vuosien aikana osaamista on voitu tehokkaasti siirtää eri ikäpolvien välillä. Uskon tämän merkitsevän sitä, että organisaatiot ovat voineet turvata jatkuvuuden toimintansa kriittisillä osa-alueilla.

Atomitekniillinen Seura on luonnollisesti ollut mukana tässä kehityksessä. ATS:n toimintaan osallistuminen ei tietenkään ole iästä kiinni, mutta eri ikäryhmien kiinnostuksen kohteet ja mahdollisuudet osallistua seuran toimintaan ovat osittain erilaiset. Young Generation on ollut aktiivinen omassa piirissään jo vuosia. Old Generation -toiminnan ensimmäinen, rajoitettu versio aloitettiin jo 1990-luvun puolivälissä. Senioritoiminnan varsinainen liikkeelle lähtö tapahtui kolme vuotta sitten ATS:n johtokunnan päätöksellä.

ATS-Seniorit on järjestäytynyt yhdeksi ATS:n toimintaryhmistä. Se toimii siis ATS:n sateenvarjon alla toisaalta tukien seuran päämääriä yleisellä tasolla ja toisaalta yhdistäen seuran

seniorit omaehtoiseen toimintaan. Seniorien toiminta alkoi toden teolla vuoden 2010 alkupuolella. Jo alku osoitti, että senioritoiminnalla oli tilauksensa, sillä seniorien jäsenmäärä nousi pian yli viidenkymmenen.

Uskallan väittää jo tähänastisen kokemuksen perusteella, että ATS:n senioritoiminta on löytänyt paikkansa seuran monipuolisten aktiviteettien joukossa. Hyvä esimerkki aktiviteeteistamme ovat tähän ATS Ydintekniikan numeroon seniorivoimin laaditut artikkelit. Senioreilla on myös ollut esitelmätilaisuuksia, vierailuja alan organisaatioissa, yhteisiä lounastilaisuuksia ja ekskursioita. Seniorit ovat osallistuneet viestintäaineiston laatimiseen ja järjestäneet kokemustenvaihtoseminaareja ATS:n puitteissa.

ATS on pystynyt hyödyntämään senioreidensa resursseja tavalla, joka tuottaa lisäarvoa sekä seuran toiminnalle että senioreille itselleen. Tällainen tilanne ei ole suinkaan itsestäänselvyys, mutta sen syntymiseen lienee voimakkaasti vaikuttanut oman alamme erityispiirre: pitkäjänteisyys.

Useimmilla aloilla kehitys muuttaa toiminnan perusteita ja toimintatapoja radikaalisti jo vuosikymmenenkin aikana, mutta ydinvoimatekniikan keskeisiä piirteitä on jatkuvuus. On vaikea kuvitella teollisuuslaitoksia, joilla on ikää yli kolmekymmentä vuotta ja joita aiotaan käyttää vielä vuosikymmeniä eteenpäinkin. Tämä on mahdollista vain turvautumalla organisaatioihin kertyneeseen osaamiseen, joka perustuu asiantuntijoiden pitkiin työsuhteisiin.

ATS on ottanut erääksi tehtäväkseen tukea alan organisaatioita osaamisen siirtämisessä sukupolvelta toiselle. Tässä toiminnassa tarvitaan sekä nuorta että varttunutta jäsenkuntaa. On kaikki syy toivoa, että hyvin alkanut toiminta jatkuu ja kehittyä edelleen suotuisasti.



Eero Patrakka
Vetäjä
ATS-Seniorit

Nuclear Seniors in Core Business

In the middle of the 1990's I attended European Nuclear Conference in Lyon. One of the sessions in conference programme dealt with the young generation in nuclear field. I recall that many of the Finnish participants were astonished when an American speaker told that young generation meant baby boomers, in other words the large generations born after World War II. We Finnish representatives of baby boomers didn't consider ourselves young any more in the 1990s. Instead now we baby boomers are without doubt in the forefront when speaking of old generation.

We belong to the generation whose representatives were first to begin working in the various organisations in the nuclear field in the 1970's. Of course, there were people already before us who worked as pioneers and left a strong mark in the development of the nuclear field. These people have stepped to the old generation years ago. However, when considering the number of retiring people, our generation is the first one to make a substantial impact on the activities in our field.

The development in the Finnish nuclear field has fortunately facilitated the preparations for retirement of the professionals. The renaissance of nuclear power that commenced ten years ago resulted in a situation where many new people could be recruited before the retirement boom. During the past years it has been possible to transfer knowledge between generations in an effective way. I believe this indicates that the organisations have been able to secure continuity in the critical sectors of their activities.

The Finnish Nuclear Society, ATS, has naturally been involved in this development. Participating in the activities of ATS does not depend on the age, of course, but the interests and possibilities to participate in the Society's activities are partly different. Young Generation has been active for years within their own circle. The first, limited version of Old Generation activities was commenced as early as in mid-1990's. The real launching of senior activities took place three years ago by a decision of the ATS board.

ATS Seniors is organised as one of the working groups of ATS. Accordingly, it works under the umbrella of ATS, on the one hand supporting the aims of the Society at a general level and, on the other hand, connecting the seniors in the Society for independent cooperation. The activities of Seniors commenced in full force in early 2010. Already the start-up proved that the senior activities are really welcome as the membership soon grew over fifty.

I dare to allege, already based on my existing experience, that the senior activities in ATS have found their place within the diverse activities of the Society. Good examples of this are the articles in this issue of ATS Ydintekniikka, written by us seniors. The ATS Seniors have arranged lectures, visits to various organisations, common lunches and excursions. Seniors have participated in the compilation of communication materials and organised experience exchange seminars within ATS.

ATS has been able to take advantage of the resources of its seniors in a way that brings added value both for the Society and the seniors themselves. Such a situation is by no means self-evident but its emergence has been contributed by a special feature in our field: perseverance.

In most fields development will change the grounds and methods of working in a radical way already in one decade but in nuclear technology one of the salient points is continuity. It is difficult to imagine industrial facilities that are older than thirty years and still expected to operate for several additional decades. This is possible only by relying on the know-how accumulated in the organisations, based on the long employments of professionals.

ATS has taken it upon itself to support the nuclear organisations in transferring know-how between generations. Both young and older members are needed to achieve this successfully. There is a good reason to hope that this activity, which has begun very well, will continue to develop favourably also in the future.



*Eero Patrakka
Chairman
ATS Seniors*

Suomen Atomiteknillisen Seuran syysseminaari 8.11.2012



Tutkimuksesta toteutukseen: ydinjätehuollon neljä vuosikymmentä

Suomen Atomiteknillisen Seuran syysseminaari järjestettiin torstaina 8.11.2012 Säätytalolla. Tänä vuonna fokuksessa oli oikeutetusti Posiva. Ydinjätehuollon neljä vuosikymmentä on ansiokkaasti koottu historiateokseksi Kohti

Heikki Raumolin.



turvallista loppusijoitusta, joka julkaisiin juuri ennen ATS:n tilaisuutta.

Seminaari aloitettiin teoksen kuvauksella kahdesta eri näkökulmasta. Aluksi Posivan varatoimitusjohtaja **Timo Äikäs** analysoi mitä ja ketä varten teos on tehty. Seuraavaksi ydinjäteasiantuntija **Heikki Raumolin**, joka osallistui merkittävällä panoksella kirjan tekemiseen, esitteli Posivan historiaa pohtien onko hyvä eteneminen ollut tuuria vai taitoa.

Historian esittely itsessään on arvokasta, mutta kokonaiskuva saadaan luotua vain tarkastelemalla myös tulevaisuutta. Kehityspäällikkö **Tiina Jalonen** Posiva Oy:stä esitteli seminaarissa loppusijoitushankkeen etenemistä suunnitelmasta toteutukseen. Posivan tavoitteena on muuttua pian ydinlaitoslunvanhaltijaksi ja rakentamislupahakemus ollaankin jättämässä vuoden 2012 loppuun mennessä. Tätä teemaa kommentoitiin myös viranomaisnäkökulmasta; STUK:n **Jussi**

Heinonen piti keskustelua herättäneen esityksen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen lupakäsittelystä.

Seminaarin virallinen osuus päättyi tyypillisesti voimayhtiöiden puheenvuoroihin. **Mia Ylä-Mella** Fennovoimasta, **Jari Tuunanen** Fortumilta ja **Veijo Ryhänen** TVO:lta kertoivat yhtiöidensä tärkeimmät kuulumiset tuoden esille teeman mukaisesti myös ydinjätehuollon ratkaisut. Vapaan seurustelun vuoro oli cocktailtilaisuudessa, jolle Säätytalon Juhlasali loi näyttävät puitteet.

Teksti ja kuvat: Anna Nieminen

Muita syksyn tapahtumia:

ATS YG laivaseminaari 9.–10.11.2012

ATS:n opintomatka Hollantiin ja Belgiaan 11.–17.11.2012 (ATS Ydintekniikan 4/2012 teema)

Swedish Nuclear Society -vierailu pääkaupunkiseudulle 23.11.



Geneven konferenssi 1958

Tutkimusreaktori FiR 1:n historiaa

FiR 1 –tutkimusreaktorin 50-vuotiseen taipaleeseen sisältyy suuri joukko hankkeita, tapahtumia ja muita yksityiskohtia.

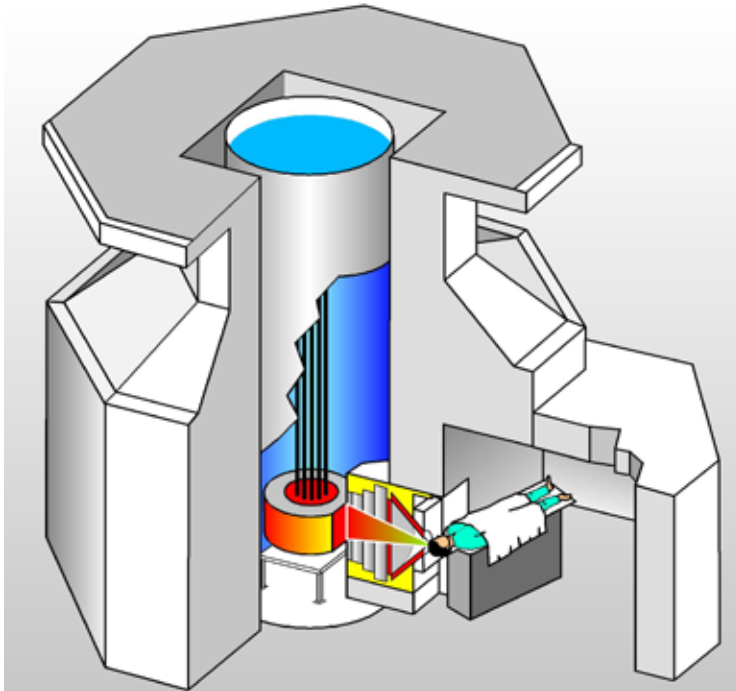
FiR 1 –reaktorin hankinnan alkuvaiheet perustuivat Suomen Akatemian silloisen esimiehen A.I. Virtasen aloitteeseen Suomen siirtymisestä ”atomi aikaan”. Hän teki valtioneuvostolle ehdotuksen atomienergiakomitean muodostamisesta. Komitea perustettiin kauppaja teollisuusministeriön alaisuuteen ja puheenjohtajaksi nimitettiin Erkki Laurila ja pääsihteeriksi Pekka Jauho. Genevessä järjestettiin tuolloin sarja ”Peaceful Uses of Atomic Energy” –kokouksia. Genevessä oli nähtävillä General Atomics-yhtiön valmistama Triga-reaktori, joka erityisen turvallisuutensa vuoksi soveltuin erinomaisesti tutkimus- ja koulutuskäyttöön.

Reaktorin polttoaineena oli uraanin ja zirkoniumhydridin seos. Tällä polt-

toainekonstruktioilla saavutettiin nopea, itseisarvoltaan suuri, negatiivinen reaktiivisuuden lämpötilakerroin. Jos polttoaineen kehittämä teho ja sen mukana lämpötila nousevat jostain syystä, mainittu takaisinkytkentä alentaa välittömästi reaktiivisuutta ja pudottaa saman tien reaktorin tehon kohtuulliseen arvoon. Reaktori on siten luonnostaan, itse polttoaineeseen perustuvasti, erittäin turvallinen. Mainittakoon, että uraanin ja zirkoniumhydridin yhdistelmän kokeilu oli yhtenä sivuhaarana ensimmäisiä ydinpommikokeita valmisteltaessa. Kokeilun tulos, havainto voimakkaasta reaktiivisuuden negatiivisesta takaisinkytkennästä, oli tosin päinvastainen pommikokeiden kehittämisen kannalta.

Triga-reaktori saavutti ensimmäisen

kriittisyytensä 27.3.1962 ja presidentti Kekkonen vihki reaktorin käyttöön elokuun lopussa samana vuonna. Reaktorin alkuaikaa kuvaa hyvin se, että kaikki suihkuputket olivat käytössä ja reaktori oli käynnissä lähes joka arkipäivä. Varsin pian ryhdyttiin suunnittelemaan reaktorin tehon korotusta alkuperäisestä 100 kW:sta 250 kW:iin. Tehonkorotus toteutui vuonna 1967. Myöhemmin on useita kertoja selvitetty mahdollisuuksia jatkaa tehonkorotuksia, mutta selvitykset eivät johtaneet uuteen tehonkorotushankkeeseen. Tehonkorotuksen esteeksi on yleensä todettu sydämeen ladatut alumiinikuoriset polttoaine-elementit, noin puolet sydämen polttoainesauvoista, joitten korvaaminen teräskuorisilla olisi miljoonaluokan investointi. Pisimmälle



FiR 1 –reaktorin halkileikkaus

selvitystyötä tehtiin vuonna 2000, jolloin mainitun sekasydämen turvallisuus olisi varmistettu laskennallisesti reaktorin valmistajan, General Atomics-yhtiön avustamana. Hankkeen kustannusarvio osoittautui kuitenkin reaktorin voimavaroihin verrattuna liian suureksi. Suunnitelman perustana oli tuolloin tehon kaksinkertaistaminen.

Reaktorin alkuajat

Reaktorin alkuaikoihin eli 1960-luvulle tyypillistä oli tutkimukseen ja säteilytyksiin liittyvät tehtävät. Ensimmäinen kylmän neutronilaitteisto oli rakennettu tangentiaaliseen suihkuputkeen. Jäähdytykseen käytettiin alun perin nestemäistä vetyä. Vedyn nesteyttäminen osoittautui kuitenkin vaaralliseksi puuhaksi ja parin nesteyttimellä tapahtuneen räjähdysen jälkeen vedyn käytöstä päätettiin luopua. Tilalle valittiin nestemäinen typpi, jolla jäähdytettiin metaanitäytteen moderattorisäiliö.

Säteilytyksistä mainittakoon Meilahden sairaalan F-18 tilaukset, joissa reaktorilla säteilytettiin litiumkarbonaattia. Säteilytetty näyte toimitettiin Meilahteen, jossa lyhytikäinen fluori erotettiin näytteestä. Myöhemmin F-18 näytteet valmistettiin helpommin kiihdyttimillä.

Reaktorin vakiintunut käyttö

Pian havaittiin, eli 1970-luvulla, että tutkimuslaitteet kaipasivat oleellisesti suurempaa neutroni-intensiteettiä, jotta

tulokset kertyisivät järkevässä ajassa. Tällöin omat suihkuputkilla tehtävät mittaukset vähenivät. Osa tutkimukseen liittyvistä mittauksista tehtiin suurempien tutkimusreaktoreiden yhteydessä ulkomailla. Poikkeuksena yleissuuntauksesta uusi kylmän neutronilaitteisto rakennettiin vielä tangentiaaliseen suihkuputkeen. Moderaattoriaineena oli vetyä jota jäähdytettiin heliumia pumpaamalla.

Geologian tutkimuskeskus kartoitti Suomen maaperän uraanipitoisuutta ja tämä tarjosi reaktorille usean vuoden työrupeaman. Kallioperänäytteen uraanipitoisuuden mittausta perustui viivästyneiden neutronien käyttöön. Ensimmäiseksi näyte säteilytettiin reaktorissa, siirrettiin mittaussasemalle, odotettiin hetken aikaa, jolloin intensiivisin gamma-säteily kuoli pois, ja lopulta päästiin mittaamaan neutroni-ilmaisimella viivästyneitä neutroneja. Viivästyneiden neutronien määrä kuvaa suoraan näytteen uraanimäärää. Näytteet siirrettiin reaktoriin ja sieltä mittaussasemalle putkipostin avulla. Aluksi näytteen siirto- ja mittauskäskyt annettiin käsin, mutta pian suunniteltiin ja valmistettiin automaattinen uraani-analysaattori, joka myös punnitsi näytteen. Tällöin saatiin tulostettua suoraan kunkin näytteen pitoisuus ja käsin tehtäväksi jäi vain näytteiden sijoittelu näytteenvaihtajaan. Parhaana vuonna pystyttiin analysoimaan 30 000 näytettä vuodessa. Automaattiset uraani-analysaattorit saatiin myytyä myös Persiaan (ennen islamilaista vallankumousta) ja Peruun.

Uraanikartoituksen päätyttyä Geologian tutkimuskeskus lähetti usean vuoden aikana maa- ja kallioperänäytteitä analysoitavaksi. Analysointimenetelmänä käytettiin luonnollisesti neutroniaktiivointianalyysia, jota oli harrastettu reaktorin alusta lähtien.

Loviisan ydinvoimalaitoksen primääripumput valmistettiin Ahlströmin konepajalla Karhulassa. Massiiviset pumppujen pesät piti läpivalaista mahdollisten vikojen löytämiseksi riittävän läpätunkevalla eli korkeaenergisellä gamma-säteilyllä. Sopivaksi säteilylähteeksi valittiin tangentiaaliseen suihkuputkeen sijoitetun kadmiumkappaleen neutroni-säteilytyksessä lähettämät kovat kaappausgammat.

Suomen alkavat ydinvoimalaitoshankkeet tarvitsivat ydintekniikkaan perehtyneitä asiantuntijoita, joten oli luonnollista, että useat reaktorin johto- ja päällikkötason henkilöt siirtyivät ydinvoimayhtiöiden palvelukseen sekä myös viranomaistehtäviin Säteilyturvakeskukseen. Ydinvoimalaitoksiin siirtyi lähes vuosittain myös tutkijoita, joilla oli takanaan vain lyhyehkö palveluaika reaktorilla. Tämähän kuului sinänsä juuri alkuperäisiin reaktorin tehtäviin eli perehdyttää henkilöt moniin ydintekniikan osa-alueisiin, kuten säteilysuojelu-, käyttö- ja polttoainehuollon tehtäviin.

FiR 1 –reaktorilla oli erityisesti suomalaisen ydinvoimatekniikan kehityksen alkuvuosikymmeninä varsin suuri merkitys ydintekniikan korkeakouluopetuksen tukena. Jonkin verran alkuperäisestä vähentyneesti korkeakoulujen opiskelijat suorittavat edelleen tutkimusreaktorilla reaktorifysiikan ja reaktoritekniikan oppilastöitä ja ne ovat tutustuttaneet tulevia diplomi-insinöörejä ydinreaktorin toimintaan ja ohjaamiseen autenttiossa ympäristössä. Tutkimusreaktoria on käytetty myös ulkomaisten oppilaitosten ja kurssijärjestäjien tarpeisiin, kun lähialueen tutkimusreaktoreita on suljettu.



Lupaavista tuloksista huolimatta hoitoyhtiö, Boneca Oy haettiin konkurssiin kuluvan vuoden, 2012 alussa. Aivokasvainhoitojen ohelle vakiintui pään- ja kaulanalueen syöpien hoito, joiden hoitotulokset osoittautuivat varsin myönteisiksi. Parhaina vuosina hoitoja tehtiin 40–50 potilaalle. Kuva: VTT.

BNCT:n suunnittelu- ja rakennusvaihe

Idea boorineutronikaappausohoidosta (BNCT) aivokasvainien sädehoitomahdollisuutena tuotiin Suomeen 1990-luvun alussa Kaliforniasta.

Ensimmäiseksi oli harkittava, olisiko tällä periaatteella toimiva hoitoasema toteutettavissa Suomessa näin pienen tutkimusreaktorin yhteydessä. Esimerkkinä oli Japanissa toimiva termisiin neutroneihin perustuva BNCT-hoitoasema. Termisillä neutroneilla toteutettava hoito edellyttää kuitenkin potilaan kallon avaamista kasvaimen kohdalta säteilytyksen aikana. Varsin pian päätettiin, että BNCT-hanke toteutetaan Japanin esimerkistä poiketen epitermisillä neutroneilla, jotka pystyvät tunkeutumaan riittävän syvälle kallon sisään eikä kirurgisia toimenpiteitä siten edellytetty säteilytystä varten. Kun valinta oli tehty epitermisten neutronien käytöstä, oli löydettävä epitermisten neutronien tuotannon kannalta mahdollisimman hyvä moderaattoriaine. Laskelmien perusteella optimaalinen moderaattoriaine olisi alumiinijauheen ja alumiinitrifluoridin seos, johon oli lisätty vielä pieni määrä litiumia termisten neutronien eliminoinemiseksi.

Hanke vaikutti hyvältä ja hankkeen toteuttamista varten perustettiin yhtiö Radtek Oy, johon osallistuivat osakkaina mm. molemmat ydinvoimayhtiöt.

Yhtiömuoto ja ydinvoimayhtiöiden osallisuus oli oleellista Tekesin rahoituksen turvaamiseksi. Yhtiön tehtävänä oli rakentaa epitermisten neutronien lähde reaktorin alunperin grafitilla täytetyn termisen patsaan onkaloon.

Valittua moderaattoriainetta ei ollut saatavissa, vaan se oli valmistettava itse. Valmistuksessa oli oleellista mm. riittävän tiheyden saavuttaminen. Labora-

toriomittakaavan koe-erät onnistuivat kohtuullisella vaivalla, mutta varsinainen satojen kilojen painoisten lohkojen valmistus eteni ongelmasta toiseen aikaa kuluttaen.

Kun riittävä määrä moderaattoriainetta oli valmistettu, reaktorin termisen patsaan onkalosta voitiin poistaa grafiitti ja korvata se uudella hidastimella. Jännittävin vaihe BNCT-hankkeessa oli varmaan uuden moderaattorin koekäyttö vuonna 1995 ja siihen liittyvät neutronivuomittaukset. Mittaukset osoittivat, että neutronivuo ja sen spektri olivat odotusten mukaiset, mikä oli huomattava saavutus usean vuoden työstä, jonka onnistuminen voitiin todeta vasta koko järjestelmän valmistuttua.

Seuraavana vuonna 1996 aloitettiin reaktorirakennuksen peruskorjaus, johon kuului myös säteilytysaseman potilastilan massiivisen suojarakennelman ja muiden potilaiden hoitoon liittyvien tilojen rakentaminen.

BNCT-hoidot

BNCT-aseman viimeistelyn ja aseman monien kalibroitumittauksien jälkeen ensimmäinen aivokasvainpotilas säteilytettiin viimein toukokuussa 1999. Vuonna 2002 hoitoyhtiön rahoitus saatiin vakiinnutettua Sitran ryhdyttyä hankkeen aktiiviseksi rahoittajaksi.

Vakaa tilanne jäi kuitenkin lyhytaikaiseksi, sillä boorin kantaja-aine ei täyttänyt uusia EU-normeja ja uuden normien mukaisen kantaja-aineen etsintään ja hyväksyntään Suomessa kului pari vuotta.

Rahoittajat eivät olleet tyytyväisiä tästä viivästyksestä. Kun kelvoinen kantaja-aine saatiin käyttöön, potilashoidotkin käynnistyivät. Aivokasvainhoitojen ohelle vakiintui pään- ja kaulanalueen syöpien hoito, joiden hoitotulokset osoit-

tautuivat varsin myönteisiksi. Parhaina vuosina hoitoja tehtiin 40–50 potilaalle.

Vuotuista potilasmäärää ei kuitenkaan pystytty kasvattamaan, vaikka se olisi ollut välttämätöntä talouden vakiinnuttamiseksi. Lähes jatkuvana ongelmana olikin rahan puute. Lupaavista tuloksista huolimatta hoitoyhtiö, Boneca Oy haettiin konkurssiin kuluvan vuoden, 2012 alussa.

Kirjoittajat:



*DI Seppo Salmenhaara
Tutkimusreaktorin käyttöpäällikkö
1974–2010
seppo.salmenhaara@gmail.com*



*TKT Seppo Vuori
Tutkimusreaktorin vastuullinen
johtaja 2002–2011
seppo.vuori@welho.com*

Triga ja Minä

Koulupoikana kävin 50-luvulla usein Helsingin Linnanmäellä tanssimassa ja kokeilemassa siellä olevia kieputuslaitteita. Kerran kuulin kahden henkilön puhuvan reaktorista. Siitäkös innostuin ja kyselin, mitä he oikein rakensivat. Sanoivat olevansa rakennustyöläisiä eivätkä tiedä mitään siitä, mitä rakentavat Otaniemessä.

Ensikuulemasta vierähti kymmenkunta vuotta ennen kuin näin Trigan omin silmin. Suomen ensimmäisen reaktorin sijoituspaikkatutkimus tapahtui todella tehokkaasti ja yksimielisesti. TKK:n piirtänyt arkkitehti **Alvar Aalto** piirsi tilakarttaan symboliksi pienen prisman merkiksi Trigan sijoituspaikasta. Ja siihen reaktori sitten rakennettiin kenenkään enempää kyselemättä.

Näihin aikoihin Suomeen ruvettiin hankkimaan ensimmäistä ydinvoimalaitosta. Silloinen Imatran Voima sai tarjouksia usealta reaktoritoimittajalta.

Asiaa harkittiin pitkään. Reaktorilaboratorion valvoja **Hugo Sirkkiä** avasi työpöydälleen ”Huokaisujen sillan” alkupäähän vedonlyöntipisteen: kuka toimittaisi Suomen ensimmäisen ydinvoimalaitoksen?

Arvauksia tulikin kaikenlaisia. Mutta sitten alkoi sitä politiikkaakin tulla ja Suomen ensimmäisen ydinvoimalaitoksen ensimmäinen tarjouskierron raukesi.

Sikäli hasu tilanne, että Sirkkiä oli kotoisin samasta kylästä Terijoelta kuin appiukkoni.

Trigan käyttöinsinöörinä

Aikoinaan aloitin sitten diplomityön tekemisen Reaktorilaboratoriossa. Samoihin aikoihin olin saanut pestin Trigan käyttöinsinööriksi. Se olikin paras työpaikka, mitä minulla koskaan tuli olemaan: ajoin reaktorin täyteen tehoon aamulla ja suljin illalla. Koko päivän saattoi omistaa omalle tutkimustyölleni.

Kaikki meni hyvin paitsi sinä yhtenä aamuna, kun unohdin käydä laittamassa jäähdytyksen päälle. Silloin se piti vielä tehdä pihalla olevassa erillisessä rakennuksessa. Reaktorin ohjauspulpetti oli aivan altaan vieressä. Kun altaasta alkoi nousta hiljakseen höyryä, minulle tuli äkkisyöksy piharakennukseen. No, nykyään on kuulemma altaan lämpötilallakin scram-raja. Mutta periodin scram-raja oli jo silloinkin, olisiko ollut 2,3 sekuntia.

Ja kun teho piti saada mahdollisimman nopeasti ylös niin säätösauvaa nostettiin aivan scram-ajan tuntumassa. Kerran tapahtui sitten se, minkä oli ta-

pahduttava: pikasulku. Klonk. Kaikkien tutkijakammioiden ovet aukesivat ja tunsin säälivät katseet niskassani. Scram-kerho oli saanut uuden jäsenen.

Diplomityö Reaktorilaboratoriossa

Helsingin yliopiston vieraileva tutkija **Antti Siivola** ehdotti minulle erittäin kiintoisaa aihetta dilpomityöksi. Valvojaksi tuli **Pekka Jauho**. Tarkoituksena oli tutkia neutroni-indusioituja reaktioita joissa vapautuisi varattu hiukkanen. Mitauksia varten oli rakennettava mittalaitteisto - spektrometri.

Neutroneilla pommitettavaa ainetta pidettiin kiinni aivan reaktorin sydämesä mahdollisimman suuressa neutronivuossa. Voimakkaasta gammasäteilystä johtuen itse ilmaisimien sijoitettava reaktorialtaan ulkopuolelle. Tutkittavat ydinreaktiot tapahtuivat pääosiltaan hyvin pienellä todennäköisyydellä. Jotta muodostuneita varattuja hiukkasia olisi saatu kohtuullinen määrä ilmaisimelle saakka, rakennettiin kohtion ja ilmaisimen väliin noin kuusi metriä pitkä johdeputki. Johdeputki muodostui alumiiniputkesta, jonka keskellä oli koaksiaalisesti ohuehko niin ikään alumiinista valmistettu elektrodi.

Näiden kahden putken välille järjestettiin säteettäinen sähkökenttä muutama kymmenen tuhannen voltin tasajännitteellä. Varatut hiukkaset joutuivat nyt tietyn edellytyksen sipsaalimaiselle radalle, joka johti ne ylös ilmaisimelle. Tarvittavan jännitelujuuden saamiseksi ja ennen kaikkea absorptioon estämiseksi johdeputkessa tuli olla varsin hyvä tyhjä. Tyhjäpumpu oli laboratoriossa jo olemassa, mutta jännitelähde tuli rakentaa itse. Kävin Philipsin puheilla ja sain lahjaksi pussillisen diodeja. Niiden jännitekestoisuus ei ollut kovinkaan suuri, joten diodeja tarvittiin sarjaan suuri määrä. Jännitejaon varmistamiseksi rakennettiin diodien rinnalle resistiiviset vastukset. Koko keksintö piti vielä valaa hartsiin koronapurkausten välttämiseksi.

Ennen käyttöönottoa laitteisto oli hyväksyttävä laboratorion turvallisuusyksi-

kössä, johon kuuluivat mm. **Antti Vuorinen** ja **Olavi Vapaavuori**.

Riskitekijät oli eliminoitava. Tyhjäpumpun tuli pysähtyä, mikäli putkeen olisi tullut vuoto. Muutoin koko reaktoriallas olisi voinut tyhjentyä säteilysuojana ja jäähdytyksenä toimivasta vedestä.

Tyhjäputki muodosti aukon reaktorisydäältä ylös reaktorihalliin. Tyhjäputken yläpään lähistöllä oli siten varsin voimakas gammavuo. Gammavuo oli tehokkaasti kollimoitu, joten se jatkoi kuluaan ylös reaktorihallin katolle ja sen läpikin. Ja siellähän olisi talvella voinut olla joku vaikka lapioimassa lunta. Niinpä minä sitten vanha kunnan Wallacin geigermittari – olisiko ollut malli RD6 - kädessä kartoitin katon ulkopuolisen gammakentän. Johdeputkesta pumpattavan ilman radioaktiivisuus oli sekin riskitekijä samoin kuin suurjännite.

Asiasta innostunut lukija voikin sitten kaivaa arkistosta esiin turvallisuusselosteen, Raportti N:o 60/1967, Teknillinen korkeakoulu, Teknillisen fysiikan laitos.

Itse kohtion tekeminen oli sekin haasteellista: materiaalikerroksen tuli olla hyvin ohut absorptioon estämiseksi, jotteivät piikit olisi liikaa levinneet. Kahta menetelmää sovellettiin. Helsingin yliopiston fysiikan laitoksella oli tyhjähöyrystyslaitteisto joka sopi tehtävään mainiosti. Toisena menetelmänä tutkittiin elektros-taattista päällystystä sopivassa liuoksessa. Amyyialkoholi taisi olla paras; valitettavasti ei etanoli.

Seuraavassa vaiheessa mittaukset suoritettiin isooppirikastetuilla aineilla. Materiaalin kanssa tuli olla varsin tarkkana, koska korkeasta hinnasta johtuen sitä saatettiin ostaa vain muutama milligramma.

*Kirjoittaja:
DI Tapani Graae
FIR 1:n - Trigan
käyttöinsinööri
1960-luvulla
tapani@graae.
com*



Ajanmukainen tekniikka tuottaa turvallisuutta ja tuloksia

Suomen ydinvoiman lähtötilanne oli haasteellinen. Ensimmäiset laitosyksiköt tilattiin 1960-luvun lopussa ja 1970-luvun alussa silloisen poliittisen ilmapiirin mukaisesti sekä idästä että lännestä.

Loviisan laitosyksiköt olivat Technopromexportin ensimmäiset ydinvoimalaitostoimitukset länsimaihin. Olkiluodon yksiköt olivat puolestaan Asea Atomin ensimmäiset ydinvoimalaitostoimitukset ylipäättään ulkomaille.

Maassamme ei ollut aikaisempaa kokemusta ydinvoimalaitosten toteuttamisesta. Muutenkin pienen kansakunnan tekniset resurssit olivat rajalliset. Lisäksi ydinvoimalaitostekniikka ja erityisesti turvallisuusvaatimukset hakivat vielä muotoaan yleismaailmallisesti.

Kuitenkin maamme ensimmäiset ydinvoimalaitosyksiköt pystyttiin toteuttamaan kohtuullisessa ajassa. Niiden käyttötulokset ovat kansainvälisessä vertailussa kärkisijoilla. Seuraavassa valotetaan joitakin tekniikkaan liittyviä syitä ydinenergian menestykselliselle hyödyntämiselle Suomessa.

Tutkimustoiminta tärkeä perusta

Kaiken teknisen kehityksen perustana on tutkimustoiminta. Muihin pohjoismaihin perustettiin 1950-luvulla mittavat ydintekniikkaan keskittyneet tutkimuslaitokset. Suomessa meneteltiin toisin. Ydinenergia-alan tutkimustoiminta liitettiin osaksi muuta teknistä tutkimus- ja kehitystoimintaa. Otaniemessä vuonna 1957 käyttöön otettu alikriittinen miilu ja vuonna 1962 vihitty tutkimusreaktori FiR 1 antoivat mahdollisuuden neutroni-

ja reaktorifysiikan kokeellisen tutkimustoimintaan.

Atomienergianeuvottelukunnan alaisuuteen 1960-luvun lopulla perustetulla tutkimusryhmillä oli merkittävä rooli voimalaitosreaktorien toimintaan perehtymisen kannalta. Tutkimusryhmiin aihepiireinä olivat reaktorifysiikka ja termohydrauliikka, materiaalitekniikka, luotettavuustekniikka sekä laitosdynamiiikka. Sittenkin näissä pienissä tutkimusryhmissä luotu pohja on laajentunut merkittäviksi toiminnoiksi VTT:n piirissä. Lappeenrannan teknillisen yliopiston yhteydessä aloitettiin reaktoritekniikkaan liittyvä koetoiminta 1970-luvulla.

Merkillepantavaa on, että tutkimustoiminta on säilyttänyt maassamme elinvoimaisuutensa samanaikaisesti, kun monessa muussa ydinvoimamaassa ydinalan tutkimuslaitoksia on ajettu alas. Kansallisena yhteistyönä nelivuotiskausittain suunnitellut ja toteutetut tutkimusohjelmat ovat kattaneet tärkeimmät ydinturvallisuuteen liittyvät alueet. Kansainvälisissä arvioinneissa ohjelmat ovat saaneet ylistäviä lausuntoja. Erityisesti on kiinnitetty huomiota siihen, että rajallisilla resursseilla on saatu aikaan hyviä tuloksia. Tutkimusohjelmilla on myös ollut merkittävä rooli lahjakkaiden nuorten houkuttelemisessa alalle ja kouluttamisessa.

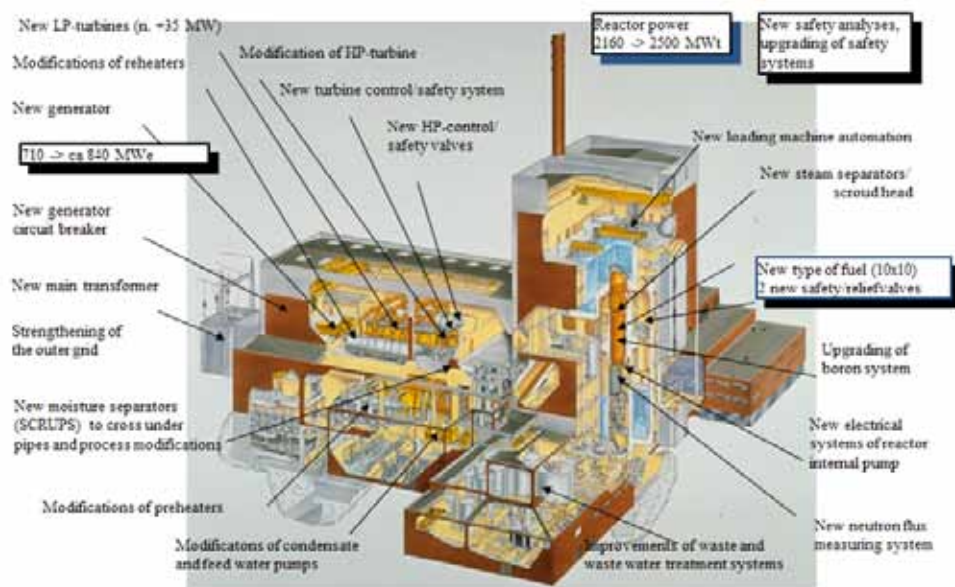
Johtuen ensimmäisten laitosyksiköiden tyyppivalinnoista Fortum on seurannut painevesireaktoreiden kehitystä ja TVO vastaavasti kiehutusvesireakto-

reiden kehitystä. Molemmat voimayhtiöt ovat osallistuneet useiden uusien reaktoriyyppien kehitysprojekteihin, mikä on edesauttanut ylläpitämään tietoa ydinvoimatekniikan viimeisimmästä kehityksestä. Tätä tietoa on voitu hyödyntää pidettäessä nykyisiä laitoksia teknisesti ajanmukaisina. Kehityshankkeisiin liittyen useat laitoistoimittajat ovat hyödyntäneet Lappeenrannan koelaitteistoja uusien teknisten ratkaisujen verifoinnissa.

Suunnitteluperusteet kohdallaan

Onnistuneen ydinvoimalaitoksen lähtökohtana on oikein valitut suunnitteluperusteet. Loviisan laitosyksiköiden osalta tilanne oli haasteellinen, sillä valittu laitostyyppi oli alun perin suunniteltu neuvostoliittolaisen turvallisuusnormiston mukaisesti. Se ei täyttänyt länsimaissa vallalla olleita turvallisuusvaatimuksia. Turvallisuusviranomaisen ja voimayhtiö osoittivat suurta viisautta vaatimalla ja toteuttamalla LO1:een ja LO2:een länsimaisten turvallisuusajattelun edellyttämät muutokset ja lisäykset. Esimerkkejä näistä ovat hermeeettisesti tiivis suojarakenus ja hätäjähdytysjärjestelmät, joiden suunnitteluperusteena on pääkiertopiirin putken katkeaminen.

Olkiluodon laitosyksiköiden alkuperäisten suunnitteluperusteiden osalta tilanne oli helpompi. Ne jopa ylittivät joiltakin osin silloisen vaatimustason. Myöhemmin näitä ylityksiä on voitu



Olkiluodon modernisointihankkeessa vuosina 1995-1998 toteutettuja muutoksia

hyödyntää turvallisuusvaatimusten tiukentua. Esimerkkinä tästä on nelinkertainen rinnakkaisuus hätäjähdytysjärjestelmissä. Sen myötä OL1 ja OL2 täyttävät ns. N-2 -vikakriteerin, jonka mukaan järjestelmien on pystyttävä toteuttamaan tehtävänsä, vaikka mikä tahansa järjestelmän yksittäinen laite olisi toimintakyvytön ja vaikka mikä tahansa turvallisuustoimintoon vaikuttava laite olisi samanaikaisesti poissa käytöstä korjauksen tai huollon vuoksi. On huomattava, että suurin osa maailman käynnissä olevista ydinvoimalaitoksista täyttää vain yksittäisvikakriteerin (N-1).

Toinen esimerkki OL1:n ja OL2:n alkuperäisistä suunnitteluperusteista on, että reaktorisydän säilyy veden peitossa kaikissa suunnittelun perusteena olevissa putkikatkotilanteissa. Näin ollen polttoaine ei pääse ylikuumenemaan ja rikkoutumaan. Useat uusimmatkaan reaktori-tyypit eivät täytä tätä vaatimusta.

Vaatimukset ajan tasalla

Suomalaisen turvallisuusajattelun lähtökohdista 1960- ja 1970-luvuilla oli Yhdysvaltain viranomaisen USNRC asettamat vaatimukset ja ohjeet (Regulatory Guides). Turvallisuusvaatimukset ovat sittemmin kehittyneet Suomessa perustuen tutkimuksen ja kehityksen tuottamiin tuloksiin sekä käynnissä olevien ydinvoimalaitosten kokemuksiin.

Suomalaisten turvallisuusvaatimusten erikoisuutena on, että ne on kirjoitettu aina silmälläpitäen uusia ydinvoima-

laitoksia. Maahammehan on puuhattu lähes jatkuvasti uutta ydinvoimakapasiteettia 1980-luvun alkuvuosista lähtien. Tosin kaikki yritykset eivät ole johtaneet konkreettiseen hankkeeseen. Uuden viranomaisvaatimuksen astuessa voimaan, on myös olemassa olevia laitoksia verrattava siihen. Periaatteena on toteuttaa niihin uuden vaatimuksen mahdollisesti aiheuttamat muutokset, mikäli se on kohtuudella mahdollista. Vastaavaa periaatetta ei ole sovellettu ainakaan kovin järjestelmällisesti muissa maissa.

Eräs merkittävä erikoisuus suomalaisissa turvallisuusvaatimuksissa on suhtautuminen vakaviin onnettomuuksiin. Jo 1980-luvun alkupuolelta lähtien vakavat onnettomuudet on otettava huomioon ydinvoimalaitoksen teknisissä ratkaisuihin. Asiaan suhtauduttiin suhteellisen myönteisesti myös voimayhtiöiden taholla, koska sillä nähtiin olevan merkitystä ydinvoiman yleisen hyväksytävyyden kannalta. Ei aina riittä, että vakavan onnettomuuden todennäköisyys osoitetaan äärimmäisen pieneksi. On paljon vakuuttavampaa, jos voi sanoa, että myös pahimmiksi arvioiduissa tilanteissa (reaktorisydämen sulaminen) ympäristölle ei koidu liiallista vaaraa. Tätä asiaa ei ehkä ole hyödynnetty riittävästi ydinvoiman ympärillä käytävässä keskustelussa.

Nykyisin varautumista vakaviin onnettomuuksiin voidaan pitää laitoksen yhtenä suunnitteluperusteena. Laitos on varustettava perinteisten suunnitteluperusteonnettomuuksien hallitsemiseksi

tarvittavien järjestelmien lisäksi niistä riippumattomilla turvallisuusjärjestelmillä, jotka on suunniteltu pelkästään vakavan onnettomuuden varalta. Vastaava vaatimus ei ole toistaiseksi sisällynyt minkään muun maan viranomaisvaatimukseen. Tosin IAEA esittää tänä vuonna (2012) julkaisemassaan laitosten rakennetta koskevassa turvallisuusstandardissa vakavia onnettomuuksia koskevia vaatimuksia. Myös ydinturvallisuusvaatimusten harmonisointipyrkimyksissä näyttää varautuminen sydämensulamisonnettomuuksiin olevan esillä. Muun muassa Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA) on sisällyttänyt uusia ydinvoimalaitoksia koskeviin turvallisuustavoitteisiin sydämensulamisonnettomuutta koskevia vaatimuksia.

Suomalaisia pidetään usein edelläkävijöinä turvallisuusvaatimusten asettamisessa. Tässä roolissa voidaan nähdä sekä hyötyjä että haittoja. Hyvänä esimerkkinä hyödyistä on se, että Fukushima onnettomuuden seurauksena toteutettavat "stressitestit" eivät ole tuoneet esiin mitään akuutteja turvallisuusongelmia maamme ydinvoimalaitoksissa. Rakenteellisia muutoksia ja lisäyksiä tullaan stressitestien perusteella toteuttamaan, mutta niiden tarve on vähäisempi kuin monessa muussa maassa. Edelläkävijäroolin haittana on se, että Suomeen tarjottavat laitostyyppit on suunniteltu alun perin toisenlaisten turvallisuusvaatimusten mukaan. Peruskonsepteihin joudutaan tekemään rakenteellisia muutoksia.

Jälkikäteen räätälöidyt muutokset eivät välttämättä johda yhtä hyvään lopputulokseen verrattuna siihen, että vaatimus olisi otettu huomioon jo suunnittelun alkuvaiheessa. Tässä mielessä turvallisuusvaatimusten yleismaailmallinen harmonisointi olisi erittäin suotavaa.

Modernisoinneilla lisää turvallisuutta ja tehoa

Suomen nykyiset ydinvoimalaitokset ovat olleet jatkuvan teknisen kehityksen kohteena. Laitosten ”pitäminen uudenveroisina” ei ole ollut pelkästään iskulause. Käyviin laitosten modernisointi ei ole ollut kovin yleistä maailmalla. Esimerkiksi TVO:n suunnitelmat mitavan modernisointihankkeen (MODE) käynnistämiseksi 1990-luvun puolessa välissä herättivät ihmettelyä ja epäilyjä kansainvälisillä foorumeilla. Suunnittelujen investointien arvioitiin murentavan laitosyksiköiden taloudellisen kannattavuuden. Käytännössä tilanne on osoittautunut päinvastaiseksi. Sittemmin monissa muissa maissa on käynnistetty vastaavia hankkeita.

Tyypillistä Suomen laitosten modernisoineille on ollut, että rakenteellisten muutosten toteuttaminen on sovitettu vuosiseisokkeihin. Seisokit ovat jossain määrin pidentyneet muutostöiden vuoksi, mutta käyttökertoimet ovat pysyneet kuitenkin hyvinä. Esimerkiksi Olkiluodon yksiköiden keskimääräinen käyttökerroin MODE-hankkeen aikana vuosina 1995-1998 oli 94 %. Toinen luonteenomainen piirre modernisoineissa on ollut, että turvallisuutta ja suorituskykyä lisäävien toimenpiteiden suunnittelu ja toteuttaminen on nivottu yhteen. Hyvänä esimerkkinä tästä on erilaisuusperiaatteen soveltaminen OL1:n ja OL2:n ylipainesuojaus/ulospuhallusjärjestelmiin. Asentamalla alkuperäisistä venttiileistä rakenteeltaan ja toiminta-periaatteeltaan poikkeavia lisäventtiilejä saatiin lisää ulospuhalluskapasiteettia, jota voitiin hyödyntää laitosyksiköiden tehonkorotuksessa.

OL1:llä ja OL2:lla 1980-luvun lopulla toteutetut rakenteelliset muutokset ja lisäykset sydämen sulamisonnettomuuden hallitsemiseksi olivat laatuaan ensimmäisten joukossa maailmassa. Kyseisiä toimenpiteitä esiteltiin myös Japanissa 1990-luvun alussa TVO:n ja TEPCO:n yhteistyöjärjestelyjen puitteissa. Vakavat onnettomuudet olivat tuolloin kuitenkin kielletty puheenaihe Japanissa,

koska niiden esille ottamisen katsottiin aiheuttavan ydinvoiman yleiseen hyväksyttävyyteen liittyviä ongelmia. Toimenpiteet edes osittain toteutettuina olisivat lieventäneet huomattavasti Fukushima onnettomuuden seurauksia.

Kaikkien Suomen ydinvoimalaitosyksiköiden nettotehoa on lisätty verrattuna alkuperäiseen tehoon. Loviisan yksiköiden tehoa on korotettu yhdeksällä prosentilla nykyiseen arvoon 488 MWe. Olkiluodon yksiköiden tehoa on lisätty useassa vaiheessa nykyiselle tasolle 880 MWe, mikä on kolmanneksen suurempi kuin alkuperäinen teho. Tällä lisäteholla tuotettiin Olkiluodossa esimerkiksi vuonna 2011 sähköä noin 3,5 TWh ilman, että siihen tarvittiin uusia voimalaitoksia. Vertailun vuoksi voi mainita, että kyseinen lisäys sähkömäärässä on noin seitsemän kertaa suurempi kuin koko tuulivoiman sähköntuotanto Suomessa kyseisenä vuonna.

Ydinvoimalaitoksen tuotantokustannusten kannalta merkittävin yksittäinen tekijä on käyttökerroin. On tärkeää osata investoida sellaisiin laitosparannuksiin, jotka edesauttavat korkean käyttökerroimen saavuttamista ja ylläpitämistä.

Käyttötulokset suotuisia

Suomen ydinvoimalaitoksilla ei ole ollut merkittäviä turvallisuusongelmia. Normaaleista käyttötilanteista poikkeavia laitostapahtumia on ollut, mutta niillä ei ole ollut mitään seurauksia ympäristölle. Laitostapahtumat on analysoitu huolellisesti ja niistä on otettu oppia vastaavien tapahtumien välttämiseksi. Käyttöturvallisuudelle on tehty määräjoihin vertaisarviointeja IAEA:n (OSART) ja WANOn (Peer Review) toimesta. Niissä esiin tulleet parannuskohteet on otettu huomioon laitosten käyttötoiminnassa.

IAEA:n PRIS-tilaston mukaan keskimääräiset elinaikaiset käyttökertoimet ovat vuoden 2011 loppuun mennessä Loviisan laitosyksiköillä 88 % ja Olkiluodon laitosyksiköillä 93 %. Luvut ovat huippuluokkaa kansainvälisessä vertailussa. Saman tilaston mukaan Suomi on maakohtaisessa vertailussa ykkösenä keskimääräisellä koko käyttöiän kattavalla käyttökertoimella 91 %. Kaikkien maiden keskiarvo on 78 %.

Johtopäätöksiä

Kokemukset Suomen nykyisistä ydinvoimalaitoksista ovat suotuisia. Hyvät käyt-

tötulokset ovat seurausta turvallisista ja luotettavista teknisistä ratkaisuista, pätevästä käyttö- ja kunnossapitotoiminnasta sekä kehittyneestä kansallisesta infrastruktuurista erityisesti koulutuksessa ja tutkimustoiminnassa. Aina on kuitenkin hyvä pitää mielessä, että hyvät käyttötulokset eivät ole itsestäänselvyys. Ne vaativat jatkuvaa ponnistelua. Minkäänlaiseen omahyväisyyteen ei ole varaa. Tuudittautuminen maailman parhaana olemiseen on varma tae tilanteen huononemiselle.

Kirjoittaja:



*TkL Ami Rastas
Jäi eläkkeelle vuonna 2004
TVO:n varatoimitusjohtajan
tehtävästä.
ami.rastas@mbnet.fi*



Kuva: Posiva

Posiva on jättämässä työ- ja elinkeinoministeriölle ydinenergi lakiin perustuvan hakemuksen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamiseksi Olkiluotoon Loviisan ja Olkiluodon voimalaitosten käytettyä polttoainetta varten. Samaan aikaan erillinen työryhmä, mukaan lukien Heikki Raumolin, on koostanut kirjaa ”Kohti turvallista loppusijoitusta, ydinjätehuollon neljä vuosikymmentä.”

Heikki Raumolin vertaa nykytilannetta kolmenkymmenen vuoden takaiseen ja toteaa, että yhteiskunnan tavoitteet ovat tehneet täyskäännöksen. Silloin haluttiin viedä käytetty polttoaine ulkomaille ja nyt vienti on kielletty.

Hän hämmästelee, kuinka vuosien kuluessa on loppusijoituksessa siirrytty takamatkalta piikkipaikalle. Matkan varrella ovat myös loppusijoituksen kestoajat venyneet merkittävästi ja loppusijoitettavan käytetyn polttoaineen määrät kasvaneet moninkertaisiksi.

Miten vertaat nykytilannetta kolmenkymmenen vuoden takaiseen tilanteeseen?

Vuoden 1982 lopussa valmisteltiin myös intensiivisesti lupahakemuksia. Olkiluodon ykkös- ja kakkosyksiköt olivat saaneet ensimmäiset käyttölupansa vain vuoden 1983 loppuun saakka. Perusteena näin poikkeuksellisen lyhyeen aikaan

oli ydinjätehuollon keskeneräisyys. Ensimmäisiä käyttölupia hakiessaan TVO ei ollut pystynyt esittämään lupaviranomaisten mielestä riittäviä selvityksiä, jotta luvat olisi voitu myöntää pidemmäksi ajaksi. Vaikka tilanne oli kokonaan erilainen kuin tänään Posivalla, tuntui silloinkin ainakin TVO:n ydinjätetoimistossa siltä, että ydinjätelupia oltiin hakemassa.

Mitä TVO:lta vaadittiin 1980-luvun alussa?

Ensimmäisten käyttölupien ehtoissa vaadittiin käytetty polttoaine vietäväksi pysyvästi ulkomaille. Jos tämä ei olisi mahdollista, käytetty polttoaine olisi ainakin jälleenkäsiteltävä. Jos tämäkään ei onnistuisi, olisi varauduttava käytetty polttoaine loppusijoittamaan Suomeen. Joka tapauksessa tekniset suunnitelmat, turvallisuusarviot ja kustannuslaskelmat on tehtävä kotimaisen vaihtoehdon perusteella niin kauan, kunnes sitovin

sopimuksin ulkomaille vienti olisi varmistettu.

Miten TVO reagoi silloin vaatimuksiin?

Maailman tilanne oli hyvin sekava. Aikaisemmat näkymät kansainvälisistä markkinoista polttokierron jälkipään hoitamiseksi olivat romahtaneet. Jälleenkäsittely oli vastatulessa, eikä nopeita reaktoreita ollutkaan tulossa reaktoriplutoniumin käyttäjiksi. Palveluja ei ollut ostettavissa.

Kotimainen vaihtoehto merkitsi suoraan loppusijoitusta, josta ei Ruotsin lisäksi ollut kansainvälisiä referenssejä. TVO:ssa ei kuitenkaan oikopäätä päätetty valita lopullisesti ratkaisuksi kotimaista loppusijoitusta, eikä se lupaehtojen vuoksi ollut mahdollistakaan. TVO:n linjaksi muodostui väliavarastokapasiteetin rakentaminen niin, että TVO saisi lisää aikaa valinnan tekemiseen jopa yli kymmenen vuotta, jotta sitten maailman



Ilmakuva talvelta 2004 Onkalo-työmaalta. Kuva: Posiva.

tilanteen selkiytyttyä voitaisiin valita turvallisuuden ja talouden kannalta soveliaain vaihtoehto. Kotimaista loppusijoitusta oli kehitettävä täysipainoisesti, jotta se muodostaisi aina käytettävissä olevan perusvaihtoehdon, johon muita vaihtoehtoja voitaisiin verrata.

Tänään jo varsin huvittavana yksityiskohtana tulee mieleeni, että vaihtoehtojatituksen demonstroimiseksi laskin joulukuussa 1982 julkaistuun raporttiin YJT-82-57 ”TVO:n ydinjätehuollon kustannukset” erilaisia kustannusvaihtoehtoja suoralle loppusijoitukselle. Tarkastelussa mukana olivat jälleenkäsittely (kaikki jälleenkäsittellään tai 100tU jälleenkäsittellään ja loput loppusijoitetaan), jätemäärien huomattava kasvu (yksi uusi laitosyksikkö), sähköntuotannon päättyminen suunniteltua huomattavasti aikaisemmin ja reaktorionnettomuus. Luvut arvasin ja ne kyllä jo mielelläni unohtaisin kokonaan. Sen sijaan voin todeta, että vastaavaa vaihtoehtotarkastelua en ole nähnyt enää kuluneina vuosikymmeninä julkaistun.

No mitkä sitten oikein olivat perusoletukset 1982?

Vuoden 1982 käyttöluvhakemuksen pohjalla olevien soveltuvuusselvitysten lähtökohdiksi oltiin valittu seuraavat arviot:

- TVO:n laitosyksiköt käyvät 30 vuotta.
- Ne tuottavat sähköä yhteensä 240 TWh.
- Ne tuottavat käytettyä polttoainetta 1200 tU.
- Käytetty polttoaine varastoidaan siten, että jäähtymisaika ennen loppusijoitusta on vähintään 40 vuotta.

Jäähtymisaika oli sama kuin loppusijoituksen ainoassa referenssiselvityksessä, ruotsalaisessa KBS-2:ssa. Varovainen käyttöikäarvio pohjautui siihen, että TVO ajoi siihen aikaan tuleviin kustannuksiin varautumisessa sitä linjaa, että varautumisen kustannukset pitää jakaa tasan koko käyttöajan aikana tuotetulle sähkömäärälle, ja sellaista laskentaperustaa sovellettiinkin voimassa olleen atomienergiain aikana. 30 vuotta ja 240 TWh olivat sellaisen varautumisen kannalta konservatiivisia eli varovaisia oletuksia. Uuden lain säätämisen yhteydessä oli paineita muuttaa laskentatapaa etupainotteiseen suuntaan, eikä TVO:n linja pitänytään.

Mielenkiintoista on nyt jälleenkäsittelyä todeta, että Olkiluodon yksiköt ovat nyt käyneet reilut 30 vuotta ja edessä on vielä toiset 30 vuotta. Vuoden 2010 loppuun mennessä oli tuotettu 1491 tU käytettyä polttoainetta ja 381 TWh ydinsähköä.

Kerrotko vähän tarkemmin, miten lähdettiin liikkeelle?

Onneksi ruotsalaiset olivat jo oman ehtolakisensa johdosta selvittäneet käytetyn polttoaineen loppusijoitusta omaan kallioperäänsä, joka sattui olemaan samanlainen kuin Suomessa, ja tehneet KBS-2 selvityksen. Tiedossa oli myös, että he jatkoivat vahvasti selvityksiään. Ruotsissa oli myös käyttöluhia myönnetty suoraan loppusijoitukseen ja KBS-selvityksiin perustuen. Ei siis tarvinnut ryhtyä keksimään ruutia uudestaan. Turvallisuusarviot päätettiin kuitenkin tehdä myös itse. Oleellista oli kuitenkin, että sijoituspaikkakysymys oli ratkaistava itsenäisesti Suomessa. Lähtökohdaksi valittiin koko Suomen kartta ja ”puhdas pöytä”-periaate.

Varsin pian selvityksiä aloitettaessa kävi ilmi, että ilman kattavaa raamia ei selvityksistä, kustannusarvioista eikä informoinnista tule mitään. Tarvittiin kokonaisuunnitelma ja aikataulu. Jäähtymisajan perusteella tavoitteeksi tuli valmius loppusijoitukseen vuonna 2020. Periaatteeksi tuli hidas jatkuva kiiruhtaminen kuitenkin niin, että aina seuraavaan välitavoitteeseen on riittävä kiire, ettei matkan varrella into pääse laskemaan. Välitavoitteet tasapainotettiin teknisten mahdollisuuksien ja uskottavuuden sekä hyväksyttävyyden kesken. Tekemiseen



Ilmakuva talvelta 2011 Onkalo-työmaalta. Kuva: Posiva.

piti olla riittävästi aikaa, mutta ratkaisua vaadittiin ”heti”. Ainakaan ratkaisuja ei saanut lykätä tuleville sukupolville.

Välitavoitteiksi tuli paikan valinta vuonna 2000 ja sitä ennen vaiheittainen eteneminen välitavoittein ja alueseulonoin vuosina 1982, 1985 ja 1992. Paikan valinnan jälkeen tavoitteeksi otettiin rakennuslupavalmius vuonna 2010.

Pari hämmästyttävää yksityiskohtaa on jäänyt mieleeni 1980-luvun alkuvuosista. Pitkä, vuosikymmenien päähän ulottuva aikataulu herätti aina hämmennystä, esittipä sitä kenelle hyvänsä. Kullijat laskivat ilmeisesti ensin mielessään, koska he itse jäävät eläkkeelle. Ulkomaisissa alan kokouksissa taas kiinnitti huomiotani se, että missään muualla ei ollut olemassa tai ei ainakaan esitetty vastaavia kokonaisuikatauluja. Ei vuosikymmenien päähän voi eikä ole tarvetta suunnitella.

Nyt jälkeinpäin voi vain todeta, että Posiva on Olkiluoto 3-yksikön tultua suunnitelmien pannut paljon paremmaksi. Olkiluodon yksiköt käyvät 60 vuotta ja jäähtymisajat ovat polttoaineen palaman kasvamisen myötä kasvamassa yhä pidemmiksi. Loppusijoituksen päättymisen menee pitkälle 2100-luvun puolelle. Suomalainen hitaasti välitavoitteiden kautta kiihtyminen on kuitenkin purrut kuin Lasse Virenin kiri Montrealin 5000 m:llä, vaikka TVO ja Posiva eivät mitään kilpailua ole halunneetkaan. Ta-

kamatkalta on siirrytty piikkipaikalle. Kokonaisuohjelman ja tavoitteiden puute on ilmeisesti useissa maissa hidastanut työtä.

Miten jäteasioissa kävi käyttölupahakemuksen jälkeen?

Käyttöluvat saatiin 1983 loppuun mennessä, kuten oli tarpeen, mutta edelleen vain viideksi vuodeksi jäteasioden keskeneräisyyden vuoksi. Taustana oli selkiytymätön maailmantilanne. Kotimaisen loppusijoituksen kohdalla valtioneuvosto teki hakemuksen käsittelyn ollessa vielä kesken vuonna 1983 päätöksen periaatteista ja aikatauluista, joita silloisten laitosten lupavollisten tuli noudattaa. Käytännössä kaikki TVO:n hakemuksessaan esittämät tavoitteet ja välitavoitteet muuttuivat sitoviksi tavoitteiksi, jotka valtioneuvosto sitten asetti käyttölupiin myös lupaehdoiksi.

On todettavissa, että jälkeinpäin muistetaan vain valtioneuvoston asettamat tavoitteet, eikä TVO:n niitä edeltäviä suunnitelmia, ja hyvä niin. TVO:n suunnitelmat oli ajateltu vähemmän sitoviksi niin, että tilanteiden kehittyessä ja tiedon lisääntyessä TVO olisi voinut niitä muuttaa. Nyt lupaehdoissa esitetyt sitovat tavoitteet ovat painavia, mutta samalla tavallaan hyväksytyjä koko yhteis-

kunnassa. Tästä oli myöhemmin paljon apua kenttätutkimusohjelman edetessä. TVO:n jätetoimistossa ja muutenkin yhtiössä tällaiset sitovat tavoitteet aiheuttivat ”mission impossible” -tunteen. Silloisen tietämyksen mukaan ei ollut lainkaan varmaa, pystytäänkö tavoitteet koskaan täyttämään. Tiedossa oli myös tuleva lainsäädäntö sijaintikunnan veto-oikeuksineen ja eduskunnan yhteiskunnan kokonaisedun mukaisuuden vahvistamiseksi. Monien vaiheiden jälkeen on kuitenkin aikataulussa pysytty niin, että vuosi 2020 on edelleen loppusijoitusvalmiuden tavoite. Mitä mutkia matkassa on ollut ja vaiheita käyty läpi on eri messun paikka. Lisää tietoa on saatavissa Posivan sponsoroiman työryhmän laatimasta kirjasta ”Kohti turvallista loppusijoitusta, ydinjätehuollon neljä vuosikymmentä.”



Haastateltava:
DI Heikki Raumolin
heikki.raumolin@kolumbus.fi



Port Radium, Kanada 1930-luvulla. Kuva: NWT Archive.

TVO:n uraania ja uraanin pioneereja

Jutut on kirjoitettu lentokentillä paluulentoja odotellessa, ja ne on sitten kirjoitettu myös suomeksi, alan suomalaista historiaa ja valokuvia lisäten. Ne löytyvät myös kirjasta “Uranium Adventures”, jonka World Nuclear Association julkaisi 2008 ja myy osoitteessa www.world-nuclear.org sivulla “Publications”.

Port Radium, Emil Walli ja Kanadan ensimmäinen uraani

Kanadan ensimmäinen uraani-kaivos oli Port Radium kaukana Pohjoisterritoriossa 1930-luvulla. Sen omisti Eldorado Gold Mines. Malmi lennätettiin etelään ja kuljetettiin junalla Port Hopeen. Siellä malmista erotettiin vain uraanin tytäraine radium. Uraani läjitettiin pellolle. Puhdas uraani ei säteile, mutta seassa ollut arsenikki myrkytti valumaveden, jonka juomisesta lehmä kuoli.

Radium oli ainoa tunnettu sädehoitoaine ja gramma sitä maksoi 80 000 \$. Kun Port Hope käynnistyi, niin alaa Kongon uraanihallinnoitaneet belgialaiset laskivat hinnan ikävästi 20 000 dollariin. Se oli Eldoradon kustannusraja, ja yhtiö ajautui valtiolle.

Port Radiumin tarkka ja taloudellinen

kaivosjohtaja oli suomalainen insinööri Emil Walli. Tästä kertoi Port Hopessa Eldoradon ”Company Secretary”, insinööri R. C. Powell, joka aloitti uransa Port Radiumissa. Kaivoksen ilmanvaihto toimi luonnonkierrolla, jonka Walli vielä sulki talvella säästääkseen energiaa. Hän ei tiennyt, että kaivosmiehet saivat suuria säteilyannoksia radonista, radiumin tytäraineesta. Huonon ilmastoinnin aiheuttama säteily määrä yhdessä tupakoinnin kanssa lisäsi keuhkosyövän riskiä. Tosin kaivosmiehet tulivat yleensä vain vuodeksi kerrallaan. Walli piti kovaa järjestystä kaivoskylässä. Sinne ei saanut tulla muita naisia kuin sairaanhoitaja, joka sattui olemaan Emil Wallin vaimo Virginia.



Eldoradon R. C. Powell, entinen Port Radiumin insinööri Port Hopessa eläkkeellä 1978. Kuva: Ilkka Mikkola.

Olavi Vapaavuori ja Toronto Starin uraaniagenttien tarina

Kun TVO talvella 1974 sai poliittisen luvan hankkia uraania, niin alalla oli salainen kartelli ja TVO sai jonkinlaisen tarjouksen vain Kanadasta. Johtaja Olavi Vapaavuori ja minä matkustimme Torontoon. Käytiin Toronton pilvenpiirtäjissä keskustelemassa uraanista Rio Algom ja Denison Minesin johtajien luona. Mutta ”kaikki uraani oli myyty lähivuodeksi”.

Illaksi Torontoon tuli Port Hopesta Eldoradon johtaja Jack Burger. Vapaavuori tunsikin hänet siltä ajalta, kun hän tutki IVO:n Jaakko Ihamuotilan ym. kanssa kanadalaisen reaktorin soveltuvuutta Suomeen. Jack Burgerin hotellihuoneessa minä sain kirjoitella sängyn reunalla muistiini niitä Beaverlodgen kaivoksen tuotannon rippeitä, joita Burger etsi muistikirjastaan. OL2:n alkulataus sovittiin Torontossa Gulf Mineralin kanssa, kun heidän kaivoksensa Rabbit Lake oli valmistumassa etuajassa ja ostettiin sen ensimmäiset uraanit. Uraani konvertoitiin UF6:ksi Port Hopessa.

Eldorado oli kruunun yhtiö, ”Crown Corporation”. Sopimusta tehtäessä ilmeni se merkillinen asianhaara, että sopimusta tehtiin muodollisesti Englannin kunin-gattaren kanssa, kun toinen osapuoli oli ”Her Majesty in the Law of Canada”, jota edustivat Eldoradon johtajat Jack Burger ja R.C. Powell.

Kanadan suomalaisessa *Vapaa Sana*

-lehdessä siteerattiin joulukuussa 1976 Toronto Starin artikkelia, jossa kerrottiin salaisista agenteista ja arvosteltiin Eldoradon salaperäisyyttä: ”Alkuvuodesta 1974 saapui rutiininomainen 200 uraanitonnin ostopyyntö TVO-nimiseltä voimalaitokselta Suomesta. TVO ei tiennyt, että samanlaisia tiedusteluja satoi Kanadaan jokaisesta maasta, joissa oli ydinreaktori tai joka toivoi saavansa sellaisen, ja että Kanada oli jo sitoutunut myymään noin 10 vuoden tuotannon. Rutiinipyyntöön annettiin rutiinivastaus: Pahoittelemme suuresti, mutta ...”.

”Suomalaiset eivät olleet valmiita antamaan myöten. Vuoden 1974 kevään aikana kaksi miestä – joita nyt kuvataan hauskanäköisiksi, aggressiivisiksi ja asiantunteviksi – saapui tähän maahan. He kulkivat uraanituottajien ovelta toiselle todeten lyhyesti sanoen: Älkää nyt yrittäkö sanoa, että ette löydä mitätöntä 200 tonnin määrää meille. He olivat hurrureita ja he saivat mitä halusivat.”

”Ensimmäinen erä lähti tänä vuonna Eldoradon Port Hopen laitoksilta Riikaan Neuvostoliittoon. Siellä venäläiset ottivat sen talteen ja siirsivät rikastamoon jossakin Neuvostoliitossa. Neuvostoliittolaisilla on nyt nähkääs enemmän rikastamokapasiteettia kuin he tarvitsevat sotilaallisiin tarpeisiinsa. Niinpä he ovat ryhtyneet tulokselliseen kilpailuun amerikkalaisten kanssa. Saattaa tulla



Olavi Vapaavuori ja TVO:n ensimmäinen uraani-kaivos Kanadasta Riikassa 1976. Kuva: Ilkka Mikkola.

shokkina kanadalaiselle kadunmiehelle, että kanadalaista uraania rikastetaan salaisissa rikastamoissa Neuvostoliitossa. Siinä ei silti ole mitään sopimatonta. Kun uraani on rikastettu, se palautetaan Riikaan, jossa IAEA:n tarkastajat punnitsevat sen varmistuakseen, ettei mitään puutu.”

Tämä oli ns. kylmän sodan aikaa ja sellainen lehtijuttu oli Vapaassa Sanassa. Se kuvaa hyvin aina optimistisen johtaja Olavi Vapaavuoren toimintatapoja. Olavi käänsi jokaisen kiven. Kun NL:n salaiset kaupungit avautuivat, niin ilmeni, että NL:ssa oli neljä rikastuslaitosta. Niissä oli rikastettu eli väkevöity mielettömät määrät 94% väkevää pommuraania, ns. ”HEU”, High Enriched Uranium.

Robert Adams ja Energy Fuels

Robert Adams oli lentäjä, jonka pommi-kone ammuttiin alas Saksan yläpuolella. Hän joutui sotavankeuteen Saksaan. Sodan jälkeen hän lenteli Coloradon ja Utahin yläpuolella Geiger-mittari koneensa nokalla ja löysi lupaavia uraaniesiintymiä. Hän perusti firman Energy Fuels, joka omisti uraanikaivoksia Coloradossa ja Utahissa.

Uraani Instituutin kevätkokouksen yhteydessä käytiin Utahin kaivoksella. Matkalla Gulf Mineralsilta Eldoradolle siirtynyt George Boyce kertoi Adamsin perheen isän yritteliäisyydestä jutun, jonka todenperäisyyttä en voi vannoa. Kerrottiin näet, että isä oli kiertävä kaupmies, jonka kuollessa ilmeni se nolo asianhaara, että hänellä oli perhe matkan kummassakin päässä. Sodan jälkeen perheellä oli joka tapauksessa meijeri ja

muuta yrityksiä Wyomingissa.

Me yksinkertaiset miehet uskomme olevamme onnenpeikkoja, kun olemme löytäneet yhden ihanan naisen. Tavallisen näköinen Robert Adams löysi ihania naisia mistä vain. Se kävi ilmi, kun ostimme Energy Fuelsilta uraania. Herra Adams tuli myyntijohtaja George Glazerin kanssa Helsinkiin neuvottelemaan jättävänä helmikuun päivänä 1982. Illalliselle Palaceen ilmestyi upea blondi, jota ei esitelty. Ilta vietettiin keskustellen herra Adamsin kanssa maailman menosta ja herra Adams häipyi illalliselta blondin kanssa. Viimeistely sopimus tuli meille postissa.

Vuonna 1988 vaimoni Heidi ja minä tapasimme erään yhdistyksen Sevillan vuosikokouksessa George Glazerin ja hänen vaimonsa Judyn. Otimme baarissa

drinkit sen puhelinsoiton johdosta, että vaimoni oli päässyt Espoon valtuustoon kotiseutuyhdistysten puheenjohtajien listalta. Silloin John Glazer sanoi, että hänpä kertoo yhden jutun. Hän oli nähnyt blondin ennen Helsingin lentoa vain yhden kerran, tarjoilijana Oregonissa. John Adams oli tarjonnut tälle noin vain viikonlopun matkaa Meksikoon. Matka peruuntui, mutta Robert Adams piti lupauksensa. Niinpä Helsinki sai korvata Acapulcon ja John Glazer tapasi blondin yllättäen New Yorkin lentoasemalla Adamsin seurassa.



Don Ebright, Hanfordin plutoniumin tuottaja, GE:n insinööri ja Nuexcon uraanin myyjä Helsingissä TVO:n vieraana Kathryn Bowenin kanssa. Kuva: Ilkka Mikkola.

Don Ebright ja "tuotantoreaktorit": Hanford ja Tšeljabinsk

Ostimme 1980-luvulla spot-urania Nuexcon Don Ebrightilta. Hän kertoi, että oli aikoinaan aloittanut Hanfordissa "tuotantoreaktorien" käyttöinsinöörinä. Niillä tuotettiin luonnonuraanista pommi-plutoniumia. Tämä oli "kansallisen turvallisuuden" alaan kuuluvaa tärkeää toimintaa kylmän sodan aikana. Reaktorien tuhansien megawattien lämpö meni Columbia-jokea myöten Tyyneen Valtamereen. Myöhemmin Don Ebright oli GE:llä ja kävi TVO:ssa 1973 GE:n edustajana. Myös Westinghouse tarjosi reaktoriaan, mutta lopulta Asea-Atom antoi parhaan OLI-tarjouksen.

Ebright kertoi, että Hanfordissa luonnonuraanin pötköt työnnettiin reaktorin jäähdytyskanaviin vaakasuorassa. Venäläiset vakoilivat USA:n pommiohjelmaa ja NL:n ensimmäinen reaktori oli kopio amerikkalaisesta. Kurtšatov pani fyysikot tarkastamaan laskelmat, kun Stalin ja Berija pelkäsivät amerikkalaisten lähettävän vääriä tietoja. Venäläiset paransivat reaktoria ja mm. latasivat urania pystysuoriin kanaviin, minkä ATS:n edustajat näkivät Tšeljabinskissä 1990 todistaessaan siellä "tuotantoreaktorien" sulkemista. Sirkka Vilamo antoi siitä haastattelun lehdistölle.

Wallace Mays ja Alexei Grigorievin syntymäpäivät Helsingissä

WNA:n ja NEI:n "World Nuclear Fuel Cycle 2012" siirrettiin Saksasta ystävällisempään Helsinkiin. WNA kutsui minutkin cocktaileille. Helsingin kokouksessa oli paikalla uraanin liuosuuton pioneeri Wallace Mays, kun USA:ssa ei ole eläkeikää. Tuli mieleen, että keväällä 2007 tämä Mays tuli Budapestin kokouksessa lounaspyytään, jossa istuin japanilaisten kanssa. Mays osti Suomesta mm. pumppuja Kazakstanin uraanintuotantoon. Mays tunnusti japanilaisille, että aikanaan "U.S. Navyssä" Japanissa hänellä oli laivallaan parikymmentä megatonnia aseita: "Ikävä tunnustaa liittolaisille tämä nolo juttu! En saisi sanoa, mutta kaikkihan sen tietävät kuitenkin näistä laivoista."

Helsingissä Tenexin toimitusjohtaja Alexei Grigoriev kysyi yllättäen, tulenko hänen syntymäpäivilleen Savoyhyn. Tottakai! Niinpä cocktailien jälkeen tavattiin Savoyssä parikymmentä alan veteraania, monilla rouvat mukana, ja pidettiin monia puheita, minä venäjäksi. Japanilaisen puheessa oli sama sisältö:

Pikkupoikana oli pelätty Venäjän karhua (jolle Japanikin menetti maata), mutta liikeasioissa vähitellen tutustuttiin ja ystävyysttiinkin.

Eero Patrakka ja minä tapasimme Grigorievin jo 1970-luvulla Tenexin nuorimpana. Grigorievin kanssa IVO:n Ossi Koskivirta ja minä kävimme myös Burjatian uraanikaivoksella ja Siperian rikastuslaitoksella, ja on oltu kalassa Olkiluodossa ja seilaamassa Baikalilla. Grigorievin isä oli Bolshoin laulaja, jota Alexei nuorena säesti Euroopan kiertueella. Savoyssa Alexei Grigoriev suostui laulamaan venäläisiä surullisia romansseja säestäen itseään pianolla. Aikaisemmin hän mm. Turussa kielitöyry laulamasta, kunnes Mauno Paavola antoi kantaa saliin "rojalin" eli flyygelin.

Siperian sotavanki Helmut Schmale ja jälleenkäsittely

Vuonna 1977 voimayhtiöiden edustajat neuvottelivat Normandiassa Cap de la Haguessa Cogeman ja BNFL:n käytetyn polttoaineen jälleenkäsittelyn myyntikartellin kanssa pitkän pöydän äärellä. Pieni joukko yöpyi Cogeman vierasmajalla ja hakeuduin illalla mielenkiintoisten ihmisten seuraan.

Siellä Saksan RWE:n polttoainejohtaja Helmut Schmale kertoi takkavalkean ääressä kokemuksiaan kuudesta vuodesta Siperian vankileirillä, jossa oli tekstiilituotantoa. Kun leiristä mentiin metsätoihin, niin KGB tarkasti vartijat, mutta ei vankeja, joiden vyötärölle oli kääritty tekstiilejä takin alle. Vartijat kävivät vaihtamassa tekstiilit viinaan. Schmale oli luottovanki, joka vartioi konekiväärillä, kun vartijat ryyppäsivät. Schmale ei vartioinut vankeja – kuka sitä olisi Siperian talveen karannut – vaan sitä, ettei KGB pääse yllättäen leiriin. Schmale lopetti kertomuksensa päätelmään: ”Saksalaisis-

ta voisi tulla hyviä kommunisteja, mutta venäläisistä ei tule koskaan.”

Schmale johti voimayhtiöiden puhetta. Hän oli tiukka ja vaikea neuvottelija. Hän oli saanut leiriltä migreenin. Vastassa oli monopoli, joten lopputulos jäi heikoksi. Yksi uusi ehto oli jätteiden palauttaminen asiakkaalle. Saksassa ydinvoimalaitosten lupaehto oli jälleenkäsittelysopimus, ja niin Schmalekin joutui tekemään Cogeman (AREVA) kanssa sopimuksen, jossa riskit olivat asiakkaalla.

TVO:lla ei ollut käytettyä polttoainetta, joten oli varaa odotella. Sitä Schmalekin neuvoi. TVO:n hallitus ei hyväksynyt kallista ja epämääräistä sopimusta. Suunniteltiin käytetyn polttoaineen varasto ja valmistauduttiin suoraan loppusijoitukseen. Schmale väitteli tämän jälkeen tohtoriksi uraanin riittävydestä, niin paljon häntä kaiveli viranomaisten vaatima jälleenkäsittelysopimus.



Plutoniumin tuotannon johtaja Vitalis Sadovnikov selostaa tuotantoreaktorin rakennetta ja toimintaa vuonna 1990. Kuva: Ilkka Mikkola.

Energieversorgung Schwaben sekä TVO:n uraani-, rikastus- ja valmistussopimukset

Myös Schwabenin Sähkön kanssa tehtiin yhteistyötä. Kun menimme 1974 pelotettavaan Moskovaan neuvottelemaan uraanin rikastamisesta, niin Vapaavuorella oli tri Ernst Schwartzilta saatu kopio saksalaisten sopimusluonnoksesta. Näin me tiesimme, mihin asti venäläisten kanssa piti ainakin yrittää tinkiä ehtoja. Tohtori Schwartz oli myös ollut Siperiassa kuusi vuotta, mikä näkyi kasvojen syvissä uurteissa. Hän ei kuitenkaan ollut ernst eli vakava, vaan jutteli mukavia.

Olin Schwartzin luona 1977 Stuttgartissa. Vuokrasin sieltä auton ja kävin Gundremmingenissä tutustumassa polttoainemittauksiin ja vaurioituneen polttoaineen käsittelyyn. Siellä oli nostettu tehoa 60% minuutissa ja oli mennyt paljon polttoainetta rikki. IAEA:n konferenssissa selostettiin tätä ja siellä Norjan Haldenin tutkijat pääsivät loistamaan koetuloksillaan uudesta ilmiöstä ”PCI”. Sen ongelman hoitamiseksi polttoaineen suojakuoreen asennettiin myöhemmin zirkoniumkerros.

Tonavalle vievän tien varrella oli tehdas, jonka katolla yllätti kirjaimet ”MENGELE”. Josef Mengelehän oli keskitysleirien tohtori, joka testasi juutalaisilla, mitä ääriolosuhteita ihminen kestää. Käytyäni voimalaitoksella tiedustelin asiaa: Kyllä,

perhe hoiti menestyvää Mengelen maatalouskoneyritystä. Tohtori Mengele eli Argentiinassa. Myöhemmin kirjaa Sota ja rauha lukiessani ihmettelin, mitä Kutuzovin armeija teki niin kaukana kotoa siellä Tonavan yläjuoksulla,

TVO hajautti myöhemmin polttoaineen hankinnat. NL:ssa rikastettu Afrikan ja Kiinan uraani valmistettiin polttoaineksi Ruotsissa. Kanadan ja Australian uraani rikastettiin Länsi-Euroopassa Urencolla ja valmistettiin Saksassa tai Espanjassa. Ruotsalaiset eivät oikein pitäneet TVO:n edustajien puhussa Nato-reitistä ja riippumattomasta sosialistimaiden reitistä. Nukemin Kurt Schreiberilta ostettiin paljon Afrikan ja Keski-Aasian uraania. Siitä kanneltiin ja ministeriön ja TVO:n edustajat joutuivat poliisin kuulusteluihin Etelä-Afrikan tuontikieltoasiassa. Oikeuskansleri totesi syytteet aiheettomiksi. Tapasin Schreiberin jo 1972, kun meitä kurssitettiin ensin tekemään sopimus rikastuksesta USA:n kanssa. Myöhemmin tavattiin eri maissa, myös mm. Uzbekistanissa.

Annoimme luotettavien välittäjän kuten Nukemin hankkia uraanin muualta kuin ”valkoisen miehen” maista. Schreiber tavattiin myöhemmin myös Euratomin viraston neuvoa antavassa

komiteassa ja myös Uraani Instituutin (nykyään WNA) johtoryhmässä. Spotostoin täydennettiin pitkiä sopimuksia. Uraanin spot-hinta vaihteli hurjasti, jopa kymmenkertaistui joskus. Varastoja kasvatettiin halvalla uraanilla moneksi vuodeksi kesäteekkarien simuloinnin mukaisesti. Tuloksista voi mainita, että TVO:n vuosikertomuksessa 2010 on uraanivaraston hankinta-arvo 39 M€ ja jälleenhankinta-arvo 135M€.



Kirjoittaja:

DI Ilkka Mikkola on TVO:n entinen polttoainepäällikkö. ilkka.mikkola@saunalahti.fi

Yli kolmannesvuosisata yhteistä historiaa ATS:n kanssa

Kun valmistuin 1970-luvun lopulla, alkoi joku nuori työtoveri huhuta, että on olemassa sellainen hieno seura kuin ATS, johon kannattaa yrittää liittyä, jotta pääsee isojen johtajien kanssa samaan seuraan. Näin sitten tein.

Seura perustettiin 1966 ja sen tarkoituksiksi määriteltiin edistää alan tuntemusta, toimia jäsenten yhdysiteenä ja syventää heidän ammatillista osaamistaan ja tehdä kansainvälistä yhteistyötä. Nämä ovat edelleen varsin päteviä periaatteita.

Arvoisat perustajajäsenet olivat olleet kauppa- ja teollisuusministeriön nimeämänä atomiretkikuntana Neuvostoliiton matkalla ja siellä miettineet atomivoiman asettamia tarpeita koulutukselle. Lainaan seuraavassa ATS:n perustavan kokouksen lehdistötiedotetta, mikä on varsin oikeaan osunut.

”Atomitekniikka on tyypillinen nk. poikkitieteellinen tekniikan ala, jossa näyttelevät tärkeää osaa paitsi puhtaasti teknilliset alat kuten reaktoritekniikka, reaktorifysiikka, metallurgia, metallioppi, konetekniikka, säätötekniikka, höyrytekniikka, sähkötekniikka ja rakennustekniikka myös useat tavallisesti yliopistojen piiriin kuuluvat tieteenalat kuten ydinfysiikka, radiokemia, säteily-suojelu ja radiobiologia. Seuran tarkoituksena on edistää näiden alojen tunte- musta ja kehitystä maassamme ottamalla erikoisesti huomioon atomitekniikan erikoisvaatimukset sekä energiantuotantoa että isotooppien soveltamista teollisuuteen silmälläpitäen.”

”Seuran tarkoituksena on myös toimia yhdysiteenä jäsentensä kesken kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi. Tämä toiminnan puoli on varsinkin ensimmäisten atomivoimalaitosten rakentamisen sekä käytön yhteydessä tärkeää, sillä meiltä on puuttunut atomitekniillisen opetuksen antaminen useilta sellaisilta tekniikan aloilta, jotka vain sivuavat atomien energian sovellutuksia. Tällaista koulutustarvetta esiintyy sekä korkeakoulu- että alemmalla teknillisen koulutuksen tasolla.”

Keino, millä tilannetta on viime vuosina korjattu, on ollut ydinturvallisuuden YK-kurssien järjestäminen. YK-kurssit ovat hieno esimerkki ATS:n aloittamasta yhdessä tekemisen perinteestä Suomessa ydinalalla. YK-kursseilla omaksutaan turvallisuuskulttuuri.

Atomitekniillisessä seurassa on monentyyppistä toimintaa, on perinteiset

kuukausikokoukset ja vuosiseminaarit. 1990-luvulla alkoi Young Generation -toiminta. Sitä edelsi se, että 1991 alettiin ottaa myös opiskelijoita seuran ns. nuoriksi jäseniksi.

Nuorilla on omia kokoontumisia, kesätapahtumia ja seminaareja, joihin osallistumiseen on kova innostus ja kiinnostus. Myös ATS:n järjestämät infotilaisuudet ydinalasta eri yliopistojen opiskelijoille ovat seuran tärkeä ja tehokas työmuoto. ATS:n työtä arvostetaan nuorien keskuudessa ja esim. konventionaal- lisella voimallaitoksella kesän työskennel- lyt opiskelija totesi, että ”teidän alalla on hienoa, kun siinä heti tutustuu koko alan verkostoon, kun taas muualla oppii tun- temaan vain pari henkilöä”.

Energiakanava perustettiin ATS:n yhteyteen vuonna 1990. Se suuntaa toimintansa ennen kaikkea naisten ja nais- päättäjien valistamiseen ydinasioista. Sen seminaarien osallistujamäärät ovat vaihdelleet 60:sta 90:een. Usuin omaa toimintaa järjestävä ryhmä on kaikille avoin ATS seniorien ryhmä, joka myös järjestää omia tapaamisia ja seminaareja.

Nyt voisi jopa ajatella, että onko tämä moninaisuus jo hajaannusta? Mutta oikeastaan tämä on aika luonnollista. Jäsenistö oli aluksi homogeenista – kaikki nuorehkoja teknillisen alan miehiä. Perustajajäsenillä oli vain neljä eri tittelä: professori, tekniikan tohtori tai lisensi- aatti, diplomi-insinööri. Lisäksi komppa- niakokoa on hankala ylittää käytännön toiminnassa – ja onhan edelleen myös yhteistä toimintaa.

Julkaisut ja matkat ovat tärkeitä. ATS:n lehdet ovat mittava tietopaketti, joitakin numeroita ja esitelmää voi käyttää jopa suoraan opetuksessa. Kansainvälinen yhteistyö on tietenkin nettiaikana helppoa, mutta kyllä oikeat ekskursiot silti puolus- tavat paikkaansa. Itse toimin ENS:n High Scientific Committeeen jäsenenä.

Maailmassa on nyt ydinalalla vakavat ajat Fukushima onnettomuuden jäl- keen. Tilanteeseen suhtautumiseen ovat vahvasti vaikuttaneet erot siinä, miten viranomaisiin ja muihin asiantuntijoihin luotetaan eri maissa. Tilanne on hyvin jännitteinen, Suomessa rakentaminen on

edelleen aktiivisesti käynnissä, monissa maissa harkitaan pysäyttämisiä.

ATS on osaltaan vuosikymmenien mittaan tuonut oikeaa tietoa sekä jäsenil- leen että päättäjille ja suurelle yleisölle. ATS järjesti myös nopealla aikataululla kuukausikokouksessa kaikille tuoretta tietoa heti onnettomuuden jälkeen.

Yliopistossamme vieraili taannoin professori UC Berkeleystä. Oli mielen- kiintoista vertailla maidemme välisiä ero- ja eri asioissa. Yhdysvalloissa valtiolliset tutkimuslaitokset eivät saaneet tiedottaa Fukushimaa jälkeen, joten yliopistossa päättivät, että heidän se on pakko tehdä. Tyynen meren rannikon eturintamaan yliopiston katolle pystytettiin radioaktii- visuuden mittausjärjestelmä.

Toisaalta suuressa maassa ei ole ollut välttämätöntä synnyttää koko alan yh- teisöllisyyttä. Professori mm. totesi, että tutkimuksen suuntaamista vaikeuttaa se, että voimallaitokset eivät ole kanssakäy- misessä minkään yliopiston tai muun tutkimuslaitoksen kanssa kuin EPRIn.

Suomi on vain ydinvoiman käyttäjä- maa. Meillä ei ole polttoainekierron lai- toksia eikä voimallaitostoimittajia, joten asiantuntemus saattaisi helposti jäädä kapeaksi. Siksi alan tutkimus on täällä erityisen tärkeää. Fukushimaa tilantees- akin on ollut hyvä, että tutkimuksia oli tehty valmiiksi: vakaviin onnettomuuksiin varautuminen, ulkoiset uhat, seisoi- kin aikaiset ilmiöt jne.

Tieto lisää tuskaa. Itseltäni meni lap- senusko ydinvoimaan vuonna 1979, kun Three Mile Islandin onnettomuustilanne vain jatkui ja jatkui. Vuonna 1986 oli tie- tenkin aivan kauheata, erityisesti tällai- sella reaktoridynaamikolla. Ja 1990- lu- vulla jatkuivat kiehutusvesireaktoreiden värähtelytapaukset.

Nyt Fukushimaa jälkeen tekee mie- li laskea, mitä teräsuojakuorien käyttö polttoaineessa maksaisi rikastusasteen korottamistarpeena. Suomessa on pär- jätty huolellisuudella hyvin – ansio siitä on osin myös ATS:n. ATS tarjoaa meille myös vertaistukea ja yhteisöllisyyttä.

Miltä näyttäisi tänään?

ATS Ydintekniikan numerossa 2/12 valotettiin SECURE-reaktorityyppiä historiallisesta ja reaktorifysikaalisesta näkökulmasta. Kaksiosaisen artikkelin jälkimmäisessä osassa käsitellään sitä, miten SECURE-konsepti suhtautuu nykyaikaisiin turvallisuusvaatimuksiin.



SECUREa ei suunniteltu syvyyspuolustusta silmällä pitäen. Reaktorilaitoksen suunnittelun perusfilosofiana oli kehittää laitos, jossa normaalit käyttöjärjestelmät hoitaisivat pääosan reaktorin turvallisuustoiminnoista. Tämä koski erityisesti reaktiivisuuden hallintaa, jossa pikasulku saatiin aikaan sammuttamalla pääkiertopumput. Tästä huolimatta pääturvallisuustoiminnoissa oli jonkin verran syvyyttä antavia toimintoja. Reaktiivisuutta voitiin hallita myös kiintein absorbaattorein eli sydämeen hydraulisesti ajettavin metallikuulin, mikäli reaktoria ei muutoin saataisi alikriittiseksi. Tosin tätä toimintoa ei ollut automatisoitu.

Sammutetun reaktorin jälkilämmönpoisto perustui siihen, että lämpö siirtyi sammutetusta reaktorista luonnonkierrolla reaktorialtaaseen. Reaktorialtaasta lämpö poistuisi jäähdytys-torniin. Jos sähköä ei olisi saatavilla, jäähdytyspiirin luonnonkierto riittäisi pitämään reaktorialtaan enintään 95 °C lämpötilassa.

Tämä oli perusteluna sille, ettei laitokselle ollut suunniteltu mitään turvallisuusluokiteltuja vaihtosähköjärjestelmiä. Mikäli kuitenkin joko jäähdytyspiiri tai primääripiirin putkisto menettäisivät eheyttä, olisi laitoksen henkilökunnalla 24 tuntia aikaa palauttaa jäähdytys ennen kuin reaktoriallas alkaisi kiehua. Jälkilämmönpoistoon tarvittaisiin tällöin vaihtosähköä, mutta sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmän lisäksi normaali

kaukolämpöverkkoon lämpöä siirtävä primääripiiri oli käytettävissä jälkilämmönpoistoon.

SECURE-laitoksen merkittävin puute syvyyspuolustusnäkökulmasta oli se, ettei suojarakennuksesta voitu poistaa lämpöä, mikäli primääripiiri tai reaktoriallas menettäisivät eheyttä. Primääripiirin putkivuodon vapauttama höyry tiivistyisi reaktorihallin seinille. Sen sijaan, jos reaktoriallas alkaisi kiehua, ei huonosti lämpöä johtava kallio kykenisi keräämään jälkilämpöä kuin jonkin aikaa. Koska reaktorihallissa ei ollut ruiskutusjärjestelmää, ei jälkilämpöä voitaisi poistaa kuin päästämällä höyryä ympäristöön. Tätä varten ei ollut olemassa höyryä kestäviä suodattimia, eikä ilmastointijärjestelmän putkistoja ollut todennäköisesti suunniteltu sietämään kuumaa vesihöyryä.

Kolmannen pääturvallisuustoiminnon, radioaktiivisten aineiden pidättämisen, syvyyspuolustus oli heikoin. Radioaktiivisten aineiden pidättäminen perustui lähinnä siihen, ettei polttoainevaurioita oletettu tapahtuvan missään suunnittelu-perusteonnettomuuksissa. Ainoa suojarakennustoiminto oli ilmastoinnin hätäeristys, jolla oli varauduttu polttoaineenkä-sittelyonnettomuuteen. Koska primääripiiri oli auki reaktorialtaaseen, se ei ollut rakenteellinen leviämiseste. Myöskään painetiivis reaktoriallas ei ollut kovin hyvä leviämiseste, sillä reaktoriallas oli varustettu ylipainesuojausta varten murtolevyillä. Sellaisessa onnettomuudessa, jossa polttoaine vaurioituisi

merkittävässä määrin, nämä murtolevyt olisivat todennäköisesti murtuneet, kun reaktoriallas olisi alkanut kiehua.

Apujärjestelmien ja automaation osalta SECURE ei täyttänyt nykyisiä ydinvoimalaitokselle asetettavia vaatimuksia, mutta suunnittelupuutteet olivat yllättävän pieniä. Varsinaisia turvallisuusjärjestelmiä oli vähän, ja nämä oli eroteltu käyttöjärjestelmistä hyvin. Turvallisuusjärjestelmät eivät myöskään vaatineet toimiakseen sähköä tai ohjauksia, joten apujärjestelmäriippuvuudet eivät nousisi ongelmiksi edes nykyaikaisessa tarkastelussa. Tärkein ongelma olisi automaation erillaisuusperiaatteen toteuttaminen. Tämä olisi periaatteessa helppoa, koska turvallisuusluokiteltua automaatiota oli äärimmäisen vähän.

Syvyyspuolustuksen kannalta ongelmana oli se, ettei ns. rajoittavia toimintoja ollut lainkaan eikä näitä olisi ollut helppoa myöskään lisätä. Koska säätösauvasäätöä ei ollut, voitaisiin reaktorin tehoa rajoittaa vain hyvin hitaasti booripitoisuutta muuttamalla, joten häiriötilanteissa pikasulkua olisi ollut hankala välttää. Lisäksi laitokselta puuttui kokonaan vakavan onnettomuuden hallinta.

Vakavan onnettomuuden hallinta

Suojarakennusta SECUREssa ei perinteisessä mielessä ollut. Ainoastaan ilmastointilinjat olivat eristettävissä. Tällä varauduttiin polttoaineen käsittelyonnettomuuteen, joka oli radiologisessa mielessä hankalin suunnitteluperustetapa. Three Mile Island -onnettomuudessa ainoa radioaktiivisten aineiden merkittävämpi vuoto ympäristöön sattui eristämättä jääneen apupiirin kautta. [4, s. 226] On selvää, että vastaavasti SECUREn vakavassa onnettomuudessa vuodot apujärjestelmien kautta ympäristöön olisivat aiheuttaneet merkittävän ympäristöpäästön.

SECUREssa vakava onnettomuus olisi syntynyt joko reaktorirakennuksen hallitsemattomasta repeämästä tai epäonnistuneesta jälkilämmönpoistosta. Näistä suunnittelijat totesivat, 1970-luvulla hyväksytyyn tapaan, ettei tapahtumia ollut syytä huomioida, koska ne olivat äärimmäisen epätodennäköisiä.

Tämä olikin todennäköisyyslaskelmi-

en perusteella ymmärrettävää. Sydänsulan todennäköisyydeksi arvioitiin, varsin primitiivisellä PRA:lla, $6 \cdot 10^{-6}$ 1/a. [5] Sitä, minkälaisen riskin reaktori- ja polttoainealtaiden raskaiden betonikansien vuosihuollonaikaiset nostot olisivat aiheuttaneet laitokselle, ei ilmeisesti käsitelty. Loviisan ydinvoimalaitoksella vastaavat raskaat nosto-operaatiot ovat kehittyneemmissä PRA-malleissa osoittautuneet tärkeiksi sydänvaurioriskiä nostaviksi alkutapahtumiksi, joten ne olisivat saattaneet olla tärkeä sydänvaurioriskiä lisäävä tekijä myös SECURE-laitoksella.

Jos reaktorin jälkilämmönpoisto tavallisten jälkilämmönpoistoketjujen kautta olisi epäonnistunut, tilanteen hallinta olisi ollut erittäin haastavaa. SECURE-laitoksella ei ollut suuria vesialtaita boorattua jäädytettä nykylaitosten tapaan, eikä reaktorialtaaseen voinut syöttää puhdasta vettä, jollei absorbaattori-kuulia ollut saatu pudotettua sydämeen.

Tämän vuoksi reaktorialtaan keittäminen ja höyryn päästö ympäristöön, mitä käytetään yleisesti käytetyn polttoaineen varastoilla jälkilämmönpoiston erillaisuusperiaatteen täyttävänä menetelmänä, ei välttämättä olisi ollut toimiva tapa poistaa jälkilämpöä. Kohtuuden nimissä on myös todettava, etteivät suunnittelijat käsitelleet tällaista jälkilämmönpoistomenetelmää lainkaan.

Mahdollisessa vakavassa onnettomuudessa sydänsula olisi todennäköisesti valunut reaktorialtaan pohjalle. Jos altaan pohjalla olisi ollut vettä, olisi voinut syntyä höyryräjähdyksiä, jotka olisivat todennäköisesti vaurioittaneet kallioon louhitun reaktorihallin rakenteita ja läpivientejä. Onnettomuuden seurauksia on vaikea arvioida.

Selvää on, että riippumatta ilmakaahään päässeen aktiivisuuden määrästä reaktorihallia ympäröivä kallio pohjavesineen olisi saastunut pahasti. Suunnittelijat olettivat omissa laskelmissaan, ettei reaktorihalli menettäisi eheyttään, mitä ei voida pitää nykyisen vakavia onnettomuuksia käsittelevän tutkimuksen perusteella selvänä. Jos suojarakennus olisi pysynyt ehjänä, väestöannokset olisivat pysyneet siedettävänä. Kollektiiviset annokset olisivat suunnittelijoiden arvioimalle, suurkaupungin lähiössä sijainneelle laitospaikalle, voineet nousta n. 240 mSv:iin. Yksilöannokset olisi-

vat kuitenkin jääneet n. 10 mSv:iin jopa aivan laitoksen lähistöllä. Päästötermiä pienensi se, että vakava onnettomuus olisi johtanut päästöön vasta n. kaksi vuorokautta alkamisensa jälkeen, koska reaktorin jälkilämpöteho oli matala verrattuna reaktorialtaan vesimäärään.

Kehitystarpeita

SECURE-reaktori on vielä kolmekymmentä vuotta projektin päättymisen jälkeen yllättävän nykyaikainen laitos. Siinä esiintyvät turvallisuuspuutteet ovat tyypillisiä 1970-luvulla suunnitellulle ydinreaktorille. Jos vertaillaan tässä artikkelissa todettuja puutteita nykyisiin turvallisuusvaatimuksiin, voidaan todeta, että SECURE ei ole suunnittelussaan ylitsepäsemättömän kaukana nykyisistä suomalaisista suunnitteluvaatimuksista.

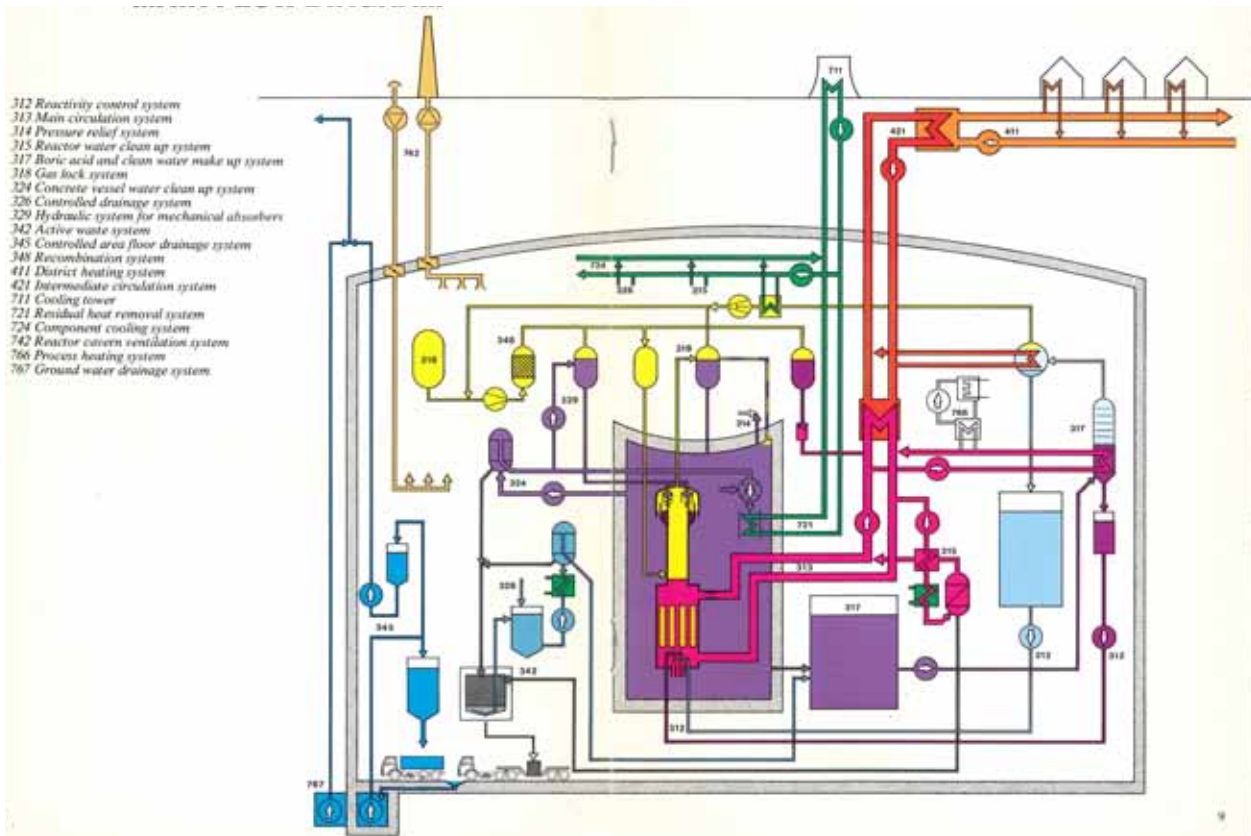
Vaikka SECUREa ei koskaan tultane rakentamaan, on silti hyödyllistä pohtia, millaisia laitosmuutoksia tämä laitos tarvitsisi nykyisten suomalaisten määräysten täyttämiseksi.

Jotta SECURE olisi luvitettavissa Suomeen, olisi lisättävä kaksi syvyyspuolustuksen tasoa: rajoittavat järjestelmät sekä vakavan onnettomuuden hallinta. Näistä vakavan onnettomuuden hallinta johtaisi laitoskonseptin perusteelliseen muuttamiseen, sillä SECUREssa ei ole nykynäkökulmasta katsoen lainkaan suojarakennusta.

Reaktorihallin kehittäminen kestämään vakavan onnettomuuden kuormat olisi vaativaa ja hankalaa, sillä se edellyttäisi todennäköisesti useita muutoksia: Lisäämällä metallilineri reaktorihallin seiniin ja lattioihin varmistettaisiin, ettei vakava onnettomuus saastuta pohjavettä. Rekombinaattoreilla estettäisiin vetyräjähdykset.

Sydänsulaa varten olisi kehitettävä sieppari, joka todennäköisesti muodostaisi osan reaktorialtaan betonirakenteesta. Järkevää olisi mahdollisesti rakentaa sydänsieppari ”märän siepparin” konseptilla, sillä olisi hankalaa saada reaktorialtaan pohjaa luotettavasti kuivaksi vakavan onnettomuuden olosuhteissa.

Jotta jälkilämpö voitaisiin poistaa yhteisvikatilanteissa, olisi lisättävä suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmä sekä tätä varten sekundääripiiri, lämpönielu, suurehko boorattu veden tankki ja eri-



SECUREn pääkiertokaavio. [1] Keskellä betoninen, painetiivis reaktoriallas, jonka sisällä on avoin reaktori. Pääkierto-
piirin muodostaa järjestelmä 313, joka siirtää tehon kaukolämpöverkkoon (411) välipiirin 412 kautta. Suuri osa apujär-
jestelmistä muodostuu kahdesta osajärjestelmästä, mikä ei ilmene piirroksesta.

laisuusperiaatteen täyttävä sähkönsyöttö tai moottorivetoiset vakavan onnettomuuden pumput. Vaihtoehtoisesti voitaisiin käyttää passiivista suojarakennuksen jäähdytysjärjestelmää nykyaikaisten kiehutusvesilaitosten tapaan.

Kummallakin suunnitteluratkaisulla saataisiin myös erilaisuuksiperiaatteen täyttävä reaktorin jälkilämmönpoisto. Passiivinen suojarakennuksen jäähdytysjärjestelmä olisi näistä yksinkertaisempi ratkaisu, ja luonnonkierron vaatimat korkeuserot olisi helppo toteuttaa kallioluolastossa. Tämän jälkeen erilaisuuksiperiaatteen toteuttaminen olisi aika helppoa myös turvallisuusautomaation osalta, sillä turvallisuusluokiteltuja automaatio toimintoja on äärimmäisen vähän.

Vuosihuollon aikaisen jälkilämmönpoiston varmistamista varten olisi joko hyväksyttävä avoimen reaktorialtaan keittäminen tai sitten käytettävä reaktorialtaan jäähdytyksen diverssinä järjestelmänä vakavan onnettomuuden varalle kehitettyä jälkilämmönpoistojärjestelmää.

Erotteluperiaatteen kannalta SECURE edellyttäisi suunnit-

tellun kahteen palo-osastoon sijoitellun automaatiojärjestelmän sijasta neljää palo-osastoa. Pääasiallinen jälkilämmönpoistojärjestelmä (järjestelmä 721) olisi kehitettävä N+2-vikakriteerin täyttäväksi, kun se suunnitelman mukaisena täyttäisi vain N+1-kriteerin. Muutoin järjestelmät vastaisivat hyvin pitkälti suomalaisia määräyksiä.

Johtopäätökset

Kannattaisiko uusi laitostyyppi? Kirjoittajan näkemyksen mukaan SECUREn turvallisuusfilosofian pohjana ollut arvio [4] energiantuotannon terveysvaikutuksista on edelleen ajankohtainen.

Ydinvoimalla tuotettu kaukolämpö aiheuttaa huomattavasti vähemmän kuolemantapauksia kuin polttoon perustuva energiantuotanto. Vaikka myös polttovoimalaitokset ovat muuttuneet puhtaammiksi, on myös ydinvoimalaitosten turvallisuus parantunut ja päästöt vähentyneet. Tämän vuoksi reaktorin sijoittaminen taajamaan olisi edelleen järkevää. Taloudellisestikin hanke voi olla järkevä, mikäli kivihiihen käyttöä rasittaa tulevaisuudessaakin päästökaupan aiheuttama

kustannus.

Ongelmaksi nouseekin lähinnä yleisen kansalaishyväksynnän saaminen hankkeelle. Tällä hetkellä, Fukushima onnettomuuden jälkimainingeissa, ei SECUREn kaltaisille laitoksille ole yhteiskunnallista tilausta tai rahoitusmahdollisuuksia. Sen sijaan kymmenen vuoden kuluttua tilanne voi olla toinen. Mikäli nyt käynnissä olevat laitoshankkeet onnistuvat menestyksellisesti, ja suomalainen ydintekniikan osaaminen nousee kansalliseksi ylpeydenaiheeksi, jonkin suomalaisen suurkaupungin kaukolämpötuotannon ratkaisu tätä varten rakennetulla ydinvoimalaitoksella voi olla toteuttamiskelpoinen ajatus.

Kirjoittaja:

TkT Mikko Lemmetty

Ryhmäpäällikkö

TVO

Tekstin on tarkastanut ATS Ydintekniikan erikoistoimittaja Klaus Kilpi, joka työskenteli SECURE-projektissa Västeråsissa vuosina 1976-1977.

Käytetyn ydinpolttoaineen välivaraston todennäköisyysperustainen ulkoisten uhkien riskianalyysi

Diplomityön tavoitteena oli tunnistaa ja määrittää alkutapahtumataajuudet tärkeimmille maaperän, meren tai ilman kautta mahdollisesti vaikuttaville ulkoisille uhille Olkiluodon alueella, jotka voivat edelleen vaikuttaa käytetyn polttoaineen välivaraston (KPA) toimintaan. Työ tehtiin osana KPA-varaston todennäköisyysperusteista riskianalyysiä.

Tarve käytetyn ydinpolttoaineen välivarastoinnin turvallisuuden mahdollisesti liittyvien ulkoisten uhkien roolin ja merkityksen selvittämiseksi on ajankohtainen Säteilyturvakeskuksen uudistaessa parhaillaan YVL-ohjeita. Ohjeluonnoksissa Ydinvoimalaitosten riskien hallinta (STUK-YVL A.7) ja Käytetyn ydinpolttoaineen käsittely (STUK-YVL D.3) esitetään vaatimus todennäköisyysperustaisen riskianalyysin ulottamisesta koskemaan myös käytetyn polttoaineen välikaista varastointia.

Käytetyt polttoaine-elementit varastoidaan Olkiluodon laitosyksiköiden reaktorihallin polttoainealtaissa keskimäärin noin viisi vuotta, jonka jälkeen käytetyt polttoaineniput siirretään KPA-varaston varastoaltaisiin odottamaan myöhemmin alkavaa loppusijoitusta. Mikäli KPA-varaston varastoaltaiden normaali vesijäähdytys keskeytyy eikä jäähdytystä saada palautettua pitkällä aikavälillä, polttoaine-elementit voivat ylikuumentua ja edelleen vaurioitua. Varastoaltaiden jäähdytys voidaan menettää useista erilaisista syistä, kuten jäähdytyspiirin vuotojen, jäähdytyspiirin laitevikojen sekä polttoainealtaiden rakenteiden vaurioiden vuoksi.

Diplomityössä selvitettiin tärkeimmät ulkoiset uhat sekä niiden mahdolliseksi arvioidut yhdistelmät Olkiluodossa sijaitsevalle KPA-varastolle. Diplomityössä ei käsitelty tahallisen vahingoittamisen seurauksia eikä maanjäristyksiä. Jatko-työnä tärkeimmät ulkoiset uhat mallinnetaan KPA-varaston riskimalliin.

Laitospaikkakohtaisten ulkoisten uhkien toistuvuusajkojen määrittäminen tehdään useimmiten ääriarvojakaumien avulla, koska mittaus-tietoa ilmiöiden ja niiden voimakkuuksien suhteen on käytettävissä vain suhteellisen lyhyeltä mitausajalta. Joidenkin ulkoisten uhkien järjestelmävaikutusten arvioinnissa on epävarmuutta siitä, millä tavoin uhat voivat vaikuttaa laitteiden toimintaan ja edelleen mikä on vaikutuk-

sien kriittinen voimakkuus. Esimerkkejä tällaisista ilmiöistä ovat öljyonnettomuudet ja maasalamat.

Diplomityön tulosten perusteella Olkiluodon laitosalueella ei tunnistettu esiintyvän KPA-varaston rakenteellista eheyttä vaarantavia ulkoisia uhkia. Sen sijaan mereltä lähtöisin olevat uhat, kuten öljyonnettomuudet sekä meriveden menetykseen liittyvät uhat voivat vaikuttaa jälkilämmönpoistoon liittyvien järjestelmien toimintakykyyn. Diplomityössä esille nousseen ja suunnitteilla olevan merivesipumppujen korkeusaseman muutoksen myötä meriveden menetykseen liittyvät nykyiselläänkin vähäiset riskit pienentynevät edelleen merkittävästi.

Opinnäyte hyväksytty Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa 5.9.2012.

DI Tiia Puukka
Luotettavuusinsinööri
Teollisuuden Voima Oyj
tiia.puukka@tvo.fi



Lähetä tiivistelmä tai vinkki ydinenergian käyttöön ja säteilyyn liittyvistä diplomitoista, pro graduista tai muista opin-
näytteistä osoitteeseen anna-maria@lansimies.com.

Jos kaikki Suomen reaktorit viinaksi muuttuisi...

Suomalaisen ydintekniikan perinteessä on keskitytty käyttämään kevytvesireaktoreita. Tämä onkin osoittautunut järkeväksi. Kevytvesireaktorit ovat monella tapaa käytännöllisiä, mutta toisaalta täyssuolanpoistetulla vedellä on ikäviä ominaisuuksia. Näistä tärkein on korroosio. Täyssuolanpoistettu vesi liuottaa metalleja suorastaan yllättävän hyvin. Joskus tuleekin siis mieleen, voisiko veden sijasta käyttää muita aineita.

Kotimaisen perinteen näkökulmasta olisi selvintä valita reaktorin jäähdytteeksi alkoholi. Etanoli olisi melkein yhtä halpaa kuin vesi, luonnossa hajoavaa ja kemiallisesti paljon vettä lempeämpää ainetta. Lisäksi kaupan päälle saataisiin varmaan hyvin halpa pikkujoulutarjoilu (kuva). Ydinteknisesti sprii ei hirveästi eroa vedestä. Alkoholissa on toki ¹²C-isotooppia, mutta sen moderaatio- ja kaappausvuorovaikutuspinta-alat ovat samalla kertaluvulla kuin vedyn. Jopa painekäytös on suunnilleen samalla hehtaarilla kuin vedellä. Spriillä moderoidun ja jäähdytetyn reaktorin sydän ja paineastia olisivat melko helposti modifioitavissa kevytvesireaktorien esikuvasta. Periaatteessa olisi todennäköisesti mahdollista rakentaa niin painespriireaktori kuin kiehutusspriireaktorikin.

Juuri samasta syystä spriimoderoitu reaktori olisi epäkäytännöllinen. Ongelmana olisi luonnollisesti juuri veden kaltaisuus: etanolin kylläinen höyrynpaine huoneenlämmössä on huomattava, ja reaktorihalli olisi hyvin epäterveellinen työpaikka, jos reaktori olisi suoraan auki reaktorihalliin. Lisäksi etanoli ei ole mitenkään erityisen hyvä lämmönsiirtoneste veteen verrattuna. Korroosio-ongelmat vähenisivät, mutta mitään muuta etua ei saataisi.

Olisi siis aika ottaa kauppaneuvos Paukun huuto: ”Tärpättä!” kirjaimellisesti. Spriin sijasta kannattaisi käyttää sopivaa

raskaampaa hiilivetyä. Pitkäketjuiset hiilivedyt voidaan lämmittää helposti useiden satojen asteiden lämpötilaan. Jos kyseisen hiilivedyn kylläinen höyrynpaine on korkeissakin lämpötiloissa matala, voidaan reaktoria käyttää matalassa paineessa, mikä tekee primäärikomponenteista paljon kevytvesireaktoria halvempia. Selvää luonnollisesti on, että raskaalla hiilivedyllä jäähdytetty reaktori tarvitsee sekundääripiirin, jolla tuotetaan varsinainen turbiinia pyörittävä höyry.

Minkä vuoksi hiilivetyjäähdytteisiä reaktoreita ei sitten käytetä? Itse asiassa tällaisia laitoksia rakennettiin ydintekniikan sankarikaudella, 1960-luvun alussa, Yhdysvaltoihin (Pique) ja Kanadaan (OMRE ja White Shell). Jäähdytteenä ja moderaattorina toimi terfenyyli. Tämä läpinäkyvä neste kiehuu normaali-ilmanpaineessa vasta n. 389 °C:n lämpötilassa, joten se on melko ideaalinen reaktorijäähdyte. Hiilivedyn käytöllä saavutettiin se, mitä tavoiteltiin: korroosio-ongelmista päästiin eroon ja paineastiasta tuli kevyt.

Sen sijaan törmättiin uusiin ongelmiin. Vesi hajoaa radiolyyisissä, gammasäteiden pommituksessa, vedyksi ja hapeksi. Nämä muodostavat hankalaa räjähdyskaasua, mutta kaasuja on helppoa käsitellä prosessijärjestelmissä, joten räjähdyskaasun poistaminen ei ole ylitsepääsemätön ongelma. Sen sijaan hiilivedyt *hiiltyvät*, kun ne altistuvat voimakkaalle säteilylle. Osa hiiltyneestä aineksesta voidaan poistaa reaktorin jäähdytysjärjestelmällä, mutta osa aineesta jää reaktoriastiaan, jossa se päätyy hankaliin paikkoihin. Käytännössä reaktorin liikkuvat osat, kuten säätösauvat, karstoittuvat samaan tapaan kuin huono polttomoottori, mikä tuottaa turvallisuusongelmia.

Opetuksena on siis se, että jo kreikkalainen Thales osasi enustaa reaktorisuunnittelun perusteet: ”Vesi on parasta.”



Taiteilijan näkemys spriimoderoidun reaktorin henkilöstöstä. Reaktori-insinööri on tullut ohjeistamaan vuoroa.



ATS

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

Johtokunta

Puheenjohtaja Chairperson	TkT Liisa Heikinheimo Teollisuuden Voima Oyj Puhelin (02) 83 811 puheenjohtaja@ats-fns.fi
Varapuheenjohtaja Vice-chairperson	FM Timo Seppälä Posiva Oy timo.seppala@posiva.fi
Sihteeri Secretary	DI Anna Nieminen Anna Nieminen sihteeri@ats-fns.fi p. +358 40 159 1156
Rahastonhoitaja Treasurer	DI Risto Vanhanen Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu risto.vanhanen@tkk.fi
Jäsenet Board Members	TkT Olli Okko STUK olli.okko@stuk.fi
	DI Tapani Raunio Fortum Power and Heat Oy tapani.e.raunio@fortum.com
	TkT Timo Vanttola VTT timo.vanttola@vtt.fi

Toimihenkilöt

ATS Young Generation	DI Tero Jännes Fennovoima Oy tero.jannes@fennovoima.fi
Kv-asioiden sihteeri International affairs	TkT Jari Tuunanen Fortum jari.tuunanen@fortum.com
Energiakanava Energy Channel WiN Finland	DI, FM Anna-Maria Länsimies Kymen Ydinviestintä anna-maria@lansimies.com
Ekskursios sihteeri	DI Juhani Palmu Posiva Oy juhani.palmu@posiva.fi
Www-vastaava	DI Heikki Suikkanen Lappeenrannan teknillinen yliopisto webmaster@ats-fns.fi
ATS-Info	TkT Seppo Vuori VTT seppo.vuori@welho.com
ATS Seniorit	Tekn.lis. Eero Patrakka Teollisuuden Voima Oyj eero.patrakka@tvo.fi

Toimitus ja yhteystiedot

Julkaisija:

Suomen Atomiteknillinen Seura ry
PL 78, 02151 Espoo
www.ats-fns.fi
Lehti ilmestyy neljä kertaa
vuodessa.
ISSN-0356-0473
Miktor

Vuoden 2012 lehtien teemat:

1/2012
Gen IV
2/2012
Ydinvoimalaitosten
sähkölaitteet
3/2012
Seniorit
4/2012
Sysseminaari ja ekskursio

Päätoimittaja, Editor in Chief:

DI, FM Anna-Maria Länsimies
ATS Ydintekniikka
c/o Kymen Ydinviestintä
PL 39, 48101 Kotka
anna-maria@lansimies.com
p. 050 561 5176

Taitto: Kymen Ydinviestintä

Yhteydenotot yleisissä asioissa,
jäsenhakemuksissa, osoitteen
ja sähköpostin muutoksissa
seuran sihteeriin:
Anna Nieminen
sihteeri@ats-fns.fi
p. +358 40 159 1156

Erikoistoimittajat:

DI Lauri Rintala
lauri.rintala@aalto.fi
DI Eveliina Takasuo
eveliina.takasuo@vtt.fi
FM Johanna Hansen
johanna.hansen@posiva.fi
DI Riku Mattila
riku.mattila@stuk.fi
DI Pekka Nuutinen
pekka.nuutinen@fortum.com
DI Juha Luukka
juha.luukka@fennovoima.fi
FM Tiina Kuusimäki
tiina.kuusimaki@tvo.fi
Haastattelutoimittaja:
DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@welho.com





**ATS:n
uudet jäsenet**

Varsinaiset jäsenet:

Antti Lammela, TVO
Samuli Hankivuo, STUK
Jyrki Kykkänen, TVO
Laura Noukka, TVO
Eric Dorval, Aalto

Opiskelijajäsen:

Raul Kleinberg, Fortum
Taisto Laato, Fortum
Juha Pesonen, Oulun yliopisto
Markus Neuvonen, Oulun yliopisto
Elina Honkala, Oulun yliopisto
Jussi Niemelä, Oulun yliopisto
Kalle Kari, Oulun yliopisto

Palautusosoite:
Suomen Atomiteknillinen Seura
PL 78
02151 ESPOO

Kannatusjäsenet:

Alstom Finland Oy

B+Tech Oy

Fennovoima Oy

FinNuclear ry

Fortum Power and Heat Oy

Mirion Technologies (RADOS) Oy

Platom Oy

Pohjoismainen Ydinvakuutuspooli

Pohjolan Voima Oy

Posiva Oy

PrizzTech Oy

Saanio & Riekkola Oy

Siemens Osakeyhtiö

Teknologian tutkimuskeskus VTT

Teollisuuden Voima Oyj

TVO Nuclear Services Oy

Voimaosakeyhtiö SF Oy

Wärtsilä Finland Oy