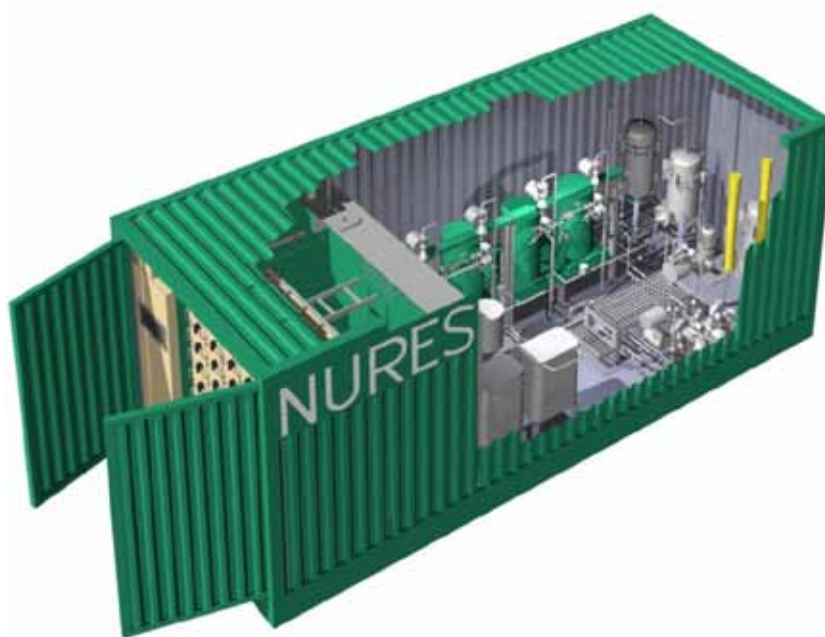


ATS Ydintekniikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA - ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND RY

2  2012 vol. 41



NURES - radioaktiivisten nesteiden puhdistusta selektiivisillä ioninvaihtimilla

Tässä numerossa:

- 3** Pääkirjoitus: Tutkimusinfra ja tutkimuksen näköaloja
- 4** Editorial: Research infra and research perspectives
- 5** Tapahtumia
- 6** NURES – Kun vähempi on parempi
- 9** YTERAn ensimmäinen vuosiseminaari Tvärminnessä
- 12** SECURE. Mikä se oli?
- 15** Radiokemian laitoksen perustamisesta 50 vuotta
- 17** Gen-IV -reaktorifysiikan tutkimus VTT:llä NETNUC-projektissa
- 19** Jules Horowitz materiaalien tutkimusreaktori (JHR)
- 21** Väitöskirja
- 23** Diplomityöt
- 25** Reaktorin laidalla
- 26** Yhteystiedot
- 27** ATS:n uudet jäsenet

Päätoimittajalta

ATS Ydintekniikan tavoitteena on kiritä jälkeä jäänyt aikataulu syksyn mittaän. Tämän numeron jälkeä puskemme kasaan vielä kaksi numeroa.

Lehti hakee yhä linjaansa. Palautteena on huomautettu, että kansipalkit ovat osa yhdistyksen perinnettä.

Kaipaatko Sinä palkkeja? Anna mielipiteesi kuulua osoitteeseen anna-maria@lansimies.com. Palkkien paluuta en lu-

paa, mutta mielipiteet lupaan ottaa huomioon.

Kertokaa, kirjoittakaa ja vinkatkaa yhä alan tapahtumista, hankkeista ja tiedotusvastuullisista hankehallinnoijista. Seuraava lehti on aina valmisteilla.

*Anna-Maria Länsimies
päätoimittaja
ATS Ydintekniikka*



Kesän kuva

ATS Young Generationin Summer Games -tapahtumassa rastitehtävänä oli muun muassa käytetyn polttoaineen kuljettaminen voimalaitokselta loppusijoitustiloihin. Ryhmän piti liikkua pressun päällä mahdollisimman pitkä matka. Kuva: Elina Mäkitalo/TVO



Tutkimusinfra ja tutkimuksen näköaloja

Kun silmäilin viimeaikaisia ATS Ydintekniikka -lehden pääkirjoituksia ja sisältöjä, havaitsin, että niissä korostuvat kolme keskeistä teemaa: maan isojen hankkeiden tilanne ja vaiheet, huoli osaajien riittävydestä - ja alan tutkimus. Niinpä nytkin.

Tutkimus, ennen kaikkea turvallisuustutkimus, on Suomen oloissa tarjonnut oivan tavan kehittää osaamista ydinvoiman elinkaaren eri vaiheisiin ja keskeisiin kysymyksiin, jotka ovat sovellettavissa myös alan muissa tehtävissä. Tutkimukseen perustuvalla asiantuntemuksella on pystytty arvioimaan muualta tarjottavan teknologian käyttökelpoisuutta. Samaa tietämystä on voitu käyttää arvioitaessa yllättävien tapahtumien, kuten viimeksi Fukushima onnettomuuden turvallisuusmerkitystä. Mutta tämäntyyppinen osaaminen vaatii pitkäjänteistä työtä, riittävää henkilöstöä sekä fyysisiä puitteita ja välineitä eli infrastruktuuria.

Onko siis tutkimuksen rooli vahva ja ulkoiset puitteet kunnossa? Eivät välttämättä, ellemmme toimi aktiivisesti, koska isoja haasteita on sekä taivaanrannalla että jo käsillä.

Kansallinen osaamistyöryhmä totesi tarpeen kouluttaa 2400 eksperttiä alalle lähivuosikymmenen aikana. Pullonkauloja on sekä yliopistojen perusopetuksessa että tutkimuksen puitteissa tapahtuvassa perehdyttämisessä. Alan yliopistot ovat viime aikoina reagoineet tilanteeseen lupaavasti; opetusta vahvistetaan ja uusia toimijoita näyttää olevan tulossa. Myös Suomen Akatemia on alkanut rahoittaa ydinenergian tutkimusta, mikä on mahdollistanut tutkimuskentän laajentumisen Suomessa tehtyjen teknologiavalintojen ulkopuolelle. Myös alan omatoiminen perehdytys ydinturvallisuus- ja ydinjätehuoltokursseineen kukoistaa.

Merkittävä haaste on tutkimuksen infrastruktuurin uudistustarve. VTT:llä on päästy kymmenisen vuotta kestäneiden selvitysten jälkeen niin pitkälle, että uuden ydinturvallisuustalon suunnittelu on hyvässä vauhdissa ja keskeiset päätökset sekä kansalliset rahoitusratkaisut on saatu linjattua. Noin neljän vuoden kuluttua valmistuvat uudet tilat parantavat merkittävästi tutkimusvalmiuksia, tehokkuutta ja yhteistyömahdollisuuksia sekä kotimaassa että kansainvälisesti. Merkittäviä päätöksiä kuitenkin vielä puuttuu, joten elämme jännityksessä.

Toinen tärkeä reaktoriturvallisuustutkimuksen infrahanke etenee Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa, jossa on otettu käyttöön modernia termohydrauliikan mittaustekniikkaa ja samalla kokeellinen tutkimus on saanut lisätiloja.

Kolmas infrahanke on materiaalitutkimusreaktori Jules Horowitz (JHR), jota kansainvälisenä yhteistyönä rakennetaan Ranskan Cadaracheen. Suomen osuus on sekä teknisesti että rahoituskallisesti haastava. VTT toimii tässä kansallisen poolin

edustajana ja toteuttajana CEA:n suuntaan. Reaktorin valmistuttua arviolta 2017 se tulee tarjoamaan monipuoliset mahdollisuudet sekä nykyisten että tulevien reaktorityyppien materiaalitutkimukselle. Myös käyttökustannukset tulevat olemaan nykyisiä järjestelyjä korkeammat, mihin tulee hyvissä ajoin varautua. JHR:stä enemmän toisaalla lehdessämme.

Suomen vanhin ydintekninen infra, Otaniemen tutkimusreaktori FiR1 on sen sijaan turbulentissa tilanteessa. Se täytti keväällä 50 vuotta ja oli juhinnan kohteena. Käyttölupa oli juuri saatu uusituksi. Kun viime vuosien keskeisin toiminta, boorineutronikaappausterapia, jouduttiin alkuvuodesta keskeyttämään hoitoja pyörittäneen firman konkurssiin, eivätkä neuvottelut hoidon jatkamiseksi johtaneet tulokseen, VTT päätti reaktorin sulkemisesta taloudellisin perustein. Eräitä neuvotteluja on edelleen käyty ja ehkä käydään vastakin, mutta tätä kirjoitettaessa sulkemisprosessi etenee. Koska kyseessä on ensimmäinen Suomessa suljettava ydinlaitos, menettelyyn valmistaudutaan huolella ja purkaminen alkaa aikaisintaan parin vuoden kuluttua. Tämän välin ainakin reaktorin isotooppituotantoa on mahdollista jatkaa.

Mihin tutkimuksemme tulisi painottua tulevina vuosina?

Tekijät ja rahoitus eivät riitä kaikilla rintamilla etenemiseen. Joudumme siis valintatilanteisiin. Yhteistyö kansallisesti ja kansainvälisesti sekä erikoistuminen ovat entistä tärkeämpiä. Infra-kustannukset nousevat väijäämättä. Samalla luottamuksellisen tilaustutkimuksen merkitys rahoituslähteenä kasvaa.

Eurooppalainen tutkimus ainakin unionin puitteissa keskittyy fuusioon ja neljännen sukupolven teknologioihin ja ns. edistyneisiin polttoainekiertoihin. Toki suora loppusijoitus on saanut oman jalansijansa Suomen ja Ruotsin pitkällä olevien sovellusten vuoksi. Olemme mukana (liian) monissa eurooppalaisissa elimissä ja yhteenliittymissä, ja esim. neljännen sukupolven tulevat demolaitokset vaativat toteutuakseen huomattavia rahoitusosuuksia. Meitä lähellä olevat sovelluskohteet ovat kuitenkin nykytyyppiset Suomen laitokset, ja toisaalta uutta rakennetaan Euroopan ulkopuolella. Tässä pohdittavaa ydinenergian tutkimusstrategiaa selvittävälle työryhmälle, jonka työ- ja elinkeinoministeriö on suunnitellut käynnistävänsä lähiaikoina.

Timo Vanttola
Johtokunnan jäsen
ATS



Research infra and research perspectives

When I looked the recent ATS Ydintekniikka magazine editorials and content, I found that they emphasized three key themes: situation of the large projects in the country, concerns about the adequacy of competence and research in the field. And this time again.

Research, and, above all, safety research in Finnish conditions has provided an excellent way to develop expertise in the various stages of the life cycle of nuclear power and the key issues, which are also applicable in other vacancies. Research-based expertise helps to evaluate usefulness of the technology offered from elsewhere, and the same knowledge can be used to assess unforeseen events, such as safety significance of the previous Fukushima accident. But this kind of expertise requires long-term work, adequate staffing and the physical framework and tools, i.e. infrastructure.

So, will the role of research be strong and external framework in good condition? Not necessarily, if we do not work actively, because major challenges are on the horizon and some of them already at hand.

The Committee for Nuclear Energy Competence reported of the need to educate 2,400 experts in the sector during the next decade. Bottlenecks exist in university basic education, as well as in the research sector training. The universities have recently responded positively; education force is being strengthened and new players appear to be on the way. The Academy of Finland has begun to fund nuclear energy research, which has expanded the research field beyond the Finnish major technology choices. The nuclear energy sector also co-operates by organizing introductory courses in nuclear safety and waste management for newcomers.

A major challenge is the reform need of research infrastructure. After ten years of investigations VTT has now reached the situation where planning of the new centre for nuclear energy research is under way, and the national financing solutions have been aligned. Approximately four years from now on the new premises will be ready and they will significantly improve research capacity, efficiency and collaboration opportunities both domestically and internationally. However, important decisions are still to be made, so we live in tension.

Another important reactor safety research infrastructure project is progressing at Lappeenranta University of Technology, which has taken into use modern thermal hydraulics measurement technology and at the same time laboratory space could be expanded.

The third infrastructure project is the material research reactor Jules Horowitz (JHR), which is in international collaboration built in Cadarache, France. Finland's contribution is both technically and financially challenging. VTT represents the

national pool of the end users and is the main actor towards CEA. When the reactor starts operation in about 2017, it will offer wide range of opportunities for materials' research both for current type and future generation reactors. Also, operating costs will be higher than in the current arrangements, which should be well prepared for. More about JHR elsewhere in our magazine.

The oldest infrastructure of nuclear technology in Finland, the Otaniemi research reactor FiR1 on the other hand is in a turbulent situation. It reached in spring the age of 50 years and was celebrated, and its operating license had just been renewed. When its major activity of the recent years, the boron neutron capture therapy, had to be interrupted early this year because of bankruptcy of the company responsible of the treatments, and because the consultations to continue the treatment were unsuccessful, VTT decided to close the reactor for financial reasons. Some discussions have still been under way, but the closing process proceeds as of this writing. Since this is the first time in Finland to close a nuclear facility, the preparations will be careful and the dismantling could start at the earliest after a couple of years. During this interval at least radioisotope production could continue.

What our research should focus on in the coming years?

There is not enough workforce and funding to proceed on all fronts, so we need to make selections. Cooperation domestically and internationally as well as specialization are ever more important. Infrastructure costs will rise inevitably. At the same time confidential contract research as funding source increases.

The European research, at least within EU focuses on fusion and the fourth generation technology and fuel recycling. Surely, the direct fuel disposal has got its own foothold due to the Finnish and Swedish advanced applications. We are involved in (too) many European institutions, instruments and associations, and for example, the fourth generation demo plants will require huge financial contributions. The applications close to us are, however, of the present day Finnish nuclear power plants, which are also more intensively being built outside Europe. How to navigate wisely; that is something to consider for the Research Strategy Committee, to be shortly launched by the Ministry of Employment and the Economy.

Timo Vanttola
Member of the Board
FNS



ATS Seniorit retkeilivät Raahessa ja Pyhäjoella



ATS Seniorit vierailivat Hanhikivellä 24.8.2012.

ATS Seniorit vierailivat Fennovoiman Pyhäjoen paikallistoimistossa ja Hanhikivi 1 -laitospaikalla 24.8.2012.

Fennovoiman puolesta emäntinä toimivat aluevastaava **Heli Haikola**, viestintäassistentti **Auli Hietala** ja ydintekniikan asiantuntija **Minttu Hietamäki**.

Emännät kertoivat vieraille ydinvoimalaitoshankkeen etenemisestä ja esittelivät alueen kaavoitustilannetta. Vieraat pääsivät tutustumaan pääpiirteittäiseen suunnitelmaan laitoksen maastosta, reaktorin paikasta, jäähdytysveden otto- ja purkualueisiin sekä suunniteltuun satamaan. Kahvia juotiin Perämeren aavan meren auringon kimalluksessa.

Eri laitostoimittajat ovat aktiivisesti selvittäneet pohjoissuomalaisten ali-

hankkijoiden tilannetta ja käyneet myös esittämässä paikan päällä. Sanomalehti Kalevassa haastatellut yritysten edustajat totesivat, että dokumentoinnin määrä kuulostaa työläältä, mutta toisaalta hanke on suuri ja kiinnostava. Sertifiointiin myötä ovet avautuvat myös muihin kansainvälisiin ydinvoimahankkeisiin.

Matkalla Oulusta Pyhäjoelle poikettiin aamupäivällä myös Rautaruukin Ruukki Metals Oy:n terästehtaalla Raahessa.

*Teksti: Ilkka Mikkola,
editointi Anna-Maria Länsimies
Kuva: Tapani Graae*

Olkiluodossa vietettiin ATS YG:n Summer Gamesejä

Kesäinen Summer Games -tapahtuma keräsi 26.7. Olkiluotoon 93 nuorta eri ydinvoima-alan yrityksistä ja organisaatioista.

Teksti ja kuva: Elina Mäkitalo/TVO

Tapahtumassa oli mukana ennätysmäärä osallistujia paitsi TVO:lta ja Posivalta, myös Fortumilta Loviisasta ja Keilaniemestä, STUKista, Fennovoimasta, VTT:ltä, Tampereen teknillisestä yliopistosta sekä Platomilta ja Pöyryltä.

Atomiteknillisen Seuran (ATS) alle 35-vuotiaiden ydinvoima-alan nuorten Young Generation (YG) -järjestöllä on

ammattia kehittävää ja verkostoivaa kansallista ja kansainvälistä toimintaa ympäri vuoden.

Teemana loppusijoitus

Tapahtuman aiheena oli käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitus ja siihen liittyvät asiat. Teema toistui päivän ajan erilaisissa muodoissa. Päivän virallinen osuus alkoi Olkiluodon Vierailukeskuksessa, jossa Posivan edustajat **Johanna Hansen** ja **Antti Joutsen** kertoivat kuulumisia ONKALO-työmaan geologisista tutkimuksista ja loppusijoituksesta yleensä.

Kisailun voitto Keilaniemeen

Kalvosulkeisten jälkeen YG:läiset pääsivät Olkiluodon aluekierroksen kautta Raunolaan kisailemaan ja saunomaan.

Kesäkisailussa taisteltiin kiertopokaalista, jonka vuonna 2011 voittivat itselleen Fortumin Keilaniemen kisaajat. Kisan rasteissa testattiin joukkueiden nokkeluutta, nopeutta ja tarkkuutta erilaisten loppusijoitukseen liittyvien tehtävien muodossa.

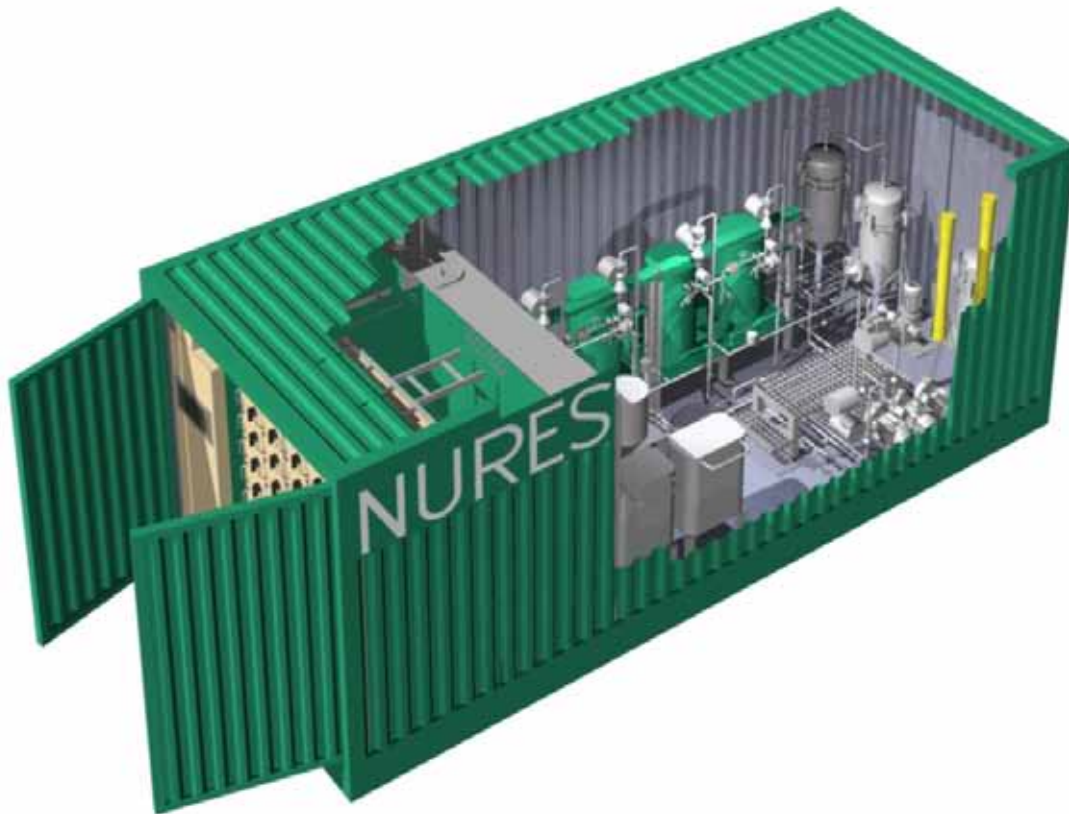
Voiton vei jälleen toisena vuonna peräkkäin Fortum Keilaniemen joukkue. Toiseksi tuli tiukassa loppukirissä toinen TVO:n joukkueista vain kahden pisteen erolla voittajiin. Voittajat saivat kiertopokaalin lisäksi makua Olkiluodon jäähdytysveden hyötykäytöstä Olkiluoto viinin ja sammen muodossa.

Summer Gamesien järjestelyvastuu on vaihtuva. Ensi vuonna järjestelyistä vastaa Platom Oy Mikkelissä.



NURES (Nuclide Removal System)

Kun vähempi on parempi



Ainutlaatuiset keksinnöt syntyvät harvoin sormia napauttamalla – tarvitaan kykyä ajatella ”out of the box” ja paljon kovaa työtä. Fortumilla on kehitetty yli 20 vuotta tuotteita ja järjestelmiä radioaktiivisia epäpuhtauksia sisältävien nesteiden käsittelyyn.

Vuonna 1978 Loviisan ydinvoimalaitoksen yhteyteen alettiin suunnitella radioaktiivisten vesien kiinteytyslaitosta, joka perustuisi radioaktiivisten nesteiden betonointiin.

Tuolloin esitettiin kysymys: miksi radioaktiivinen vesi betonoidaan sen sijaan, että vedestä poistettaisiin radioaktiivisuus, jolloin vesi voitaisiin vapauttaa esimerkiksi mereen?

Alkureaktio tietenkin oli, että jos se olisi mahdollista, joku olisi jo löytänyt ratkaisun. Maailmalta löytyi kuitenkin tutkimustietoa asiaan liittyen.

Koska konseptiin liittyi valtava mahdollisuus kustannustehokkuuden parantamiseen – radioaktiivisen veden käsittelyyn ydinvoimalaitoksilla siten,

että jätteen määrä vähenee, eikä lisäänty – tutkimusohjelmaa päätettiin rahoittaa, tosin aluksi vain vuosi kerrallaan. Muutaman vuoden sisällä menetelmä näytti todelliset mahdollisuutensa.

Oleellinen vaatimus oli, että menetelmä täytyy olla niin kompakti, että se voidaan rakentaa voimalaitoksen olemassa oleviin tiloihin. Tämän takia mitkään menetelmät, jotka perustuvat saostukseen tai koko nestetilavuuden tasapainottamiseen ioninvaihtimella, eivät voineet tulla kysymykseen.

Niitäkin tutkittiin, mutta koska menetelmät olisivat vaatineet massojen hankalaa erottamista isoista nestemääristä, ne eivät soveltuneet voimalaitoksen uudeksi järjestelmäksi.

Vaatumuksena oli, että NURES-järjestelmän täytyy toimia suodattavan hiekkapedin tapaan: muista epäpuhtauksista puhdistettu radioaktiivinen vesi johdetaan erittäin selektiivisiin ioninvaihtimiin, eli CsTreat-, CoTreat- ja SrTreat-massapeteihin. Kulkiessaan niiden läpi vesi puhdistuu säteilyä aiheuttavista aineista, ja radioaktiivisuus siirtyy puhdistaviin massoihin.

Johtavaa ioninvaihtimien tutkimusta Suomessa

NURES-konseptin realisoimiseksi aloitettiin tutkimustyö, jota tehtiin yhdessä Helsingin yliopiston Radiokemian laboratorion (HYRL) kanssa.

Yli 30 vuotta kestäneen yhteistyön alkuvaiheessa erilaisten umpikujaan johtaneiden kokeiden jälkeen löydettiin vihdoin halutun konseptin mahdollista-va polku.

HYRL:ssä *Olli Heinonen* oli jo aiemmin aloittanut ydinjäteliuoksiin kohdistuneen ioninvaihtimien tutkimuksen. Heinosen jälkeen tutkimusta jatkoi radiokemian nykyinen professori *Jukka Lehto* ja hänen jälkeensä *Risto Harjula*, joka toimii tätä nykyä HYRL:ssä dosenttina ja yliopistonlehtorina.

Nykyisiin, jo pitkään kaupallisella asteella olleisiin ioninvaihtimiin, liittyy paljon tutkimusta. Lisäksi kehitteillä on jatkuvasti uusia ioninvaihtimia, joilla muitakin aineita pystyttäisiin erottamaan tehokkaammin kuin nykyisillä markkinoilta löytyvillä ioninvaihtimilla.

HYRL on luonut malleja siitä, miten ioninvaihtimet toimivat erilaisissa vesissä – radioaktiivisissa nesteissä on usein paljon muutakin kuin niitä aineita, joihin selektiiviset ioninvaihtimet reagoivat. NURES-tuotteiden hyödyntäminen vaatii siksi aina asiakaskohtaista räätälöintiä. Mallintaminen on perustutkimusta, josta myös asiakkaat hyötyvät suoraan.

Teollisuuden kytköksestä huolimatta ioninvaihtimiin liittyvästä tutkimustyöstä on ollut mahdollista julkaista tieteellisiä ja teknisiä artikkeleita ja osallistua alan konferensseihin. Tieteelliset julkaisut luovat lisäksi luotettavan pohjan ioninvaihtimien kaupalliselle soveltamiselle.

HYRL:n työssä ovat yhdistyneet perustutkimus, käytännön ongelmien ratkaiseminen NURES-tuotteita käyttävien asiakkaiden luona sekä uusien osaajien kouluttaminen radiokemian alalle.

Runsaasti teollisia sovellutuksia

Alunperin tutkimustyötä ohjasi kaksi tavoitetta: ioninvaihtimien voimakas selektiivisyys ja raomainen olomuoto, jotka yhdessä mahdollistavat käytön suodattavana hiekkapetinä.

Ensimmäisenä ratkaistiin cesium-selektiivisen ioninvaihtimen ”resepti”, sitten oli vuorossa strontium, joka on yleensä ongelma vain polttoaineen jälleenkäsittelyssä tai ydinonnettomuustilanteissa.

Tutkimustyö ulotettiin tämän jälkeen

myös korroosiotuotteisiin, jolloin syntyi vielä kolmas selektiivinen ioninvaihdin, erityisesti kobolttiin iskevä CoTreat.

1980-luvun puolivälissä menetelmä saatiin toimimaan laboratorio-olosuhteissa. Tämän jälkeen CsTreat otettiin ensimmäisenä teolliseen käyttöön Loviisan voimalaitoksella vuonna 1991. SrTreatista kehitettiin ulkomailla ensimmäinen teollinen sovellutus vuonna 1993 ja CoTreatista vuonna 1996.

Tällä hetkellä maailmalla on käytössä noin 50–60 Fortumin keksintöön perustuvaa, asiakkaiden tarpeisiin räätälöityä NURES-järjestelmää. Asiakkaina ovat olleet lähes kaiken tyyppiset ydinlaitokset.

Menetelmä on sovellettavissa lähes kaikkiin radioaktiivisiin nesteisiin. Mitä enemmän nesteessä on liuenneita suoloja, sitä todennäköisemmin sovellus sopii NURES-tuotteille.

Tuotteiden sovellutuksina on testattu ja käsitelty esimerkiksi allasvesiä, lattiavesiä, haihdutusjätteitä, jälleenkäsittelyssä syntyviä nesteitä, tutkimuslaitosten jätevesiä, isotooppituotannossa syntyviä vesiä, radioaktiivisten komponenttien puhdistuksessa ja liuotuksessa syntyviä vesiä, ja erikoisuutena myös nopean reaktorin natriumjähdytteenä olevan natriumin puhdistus.

Menetelmän tehokkuutta voidaan havainnollistaa muutamalla esimerkillä:

- Loviisan voimalaitoksella noin 1500 m³ haihdutusjätteitä on puhdistettu 232 litralla CsTreat:a.
- Viron Paldiskissa 700 m³ allasvesiä puhdistettiin 12 litralla CsTreat:a.
- Callawayn voimalaitoksella USAn Missourissa noin 3000 m³ puhdistettiin 250 litralla CsTreat:a.
- Englannissa Sellafieldin jälleenkäsittelylaitoksella puhdistettiin THORP-laitoksella käytetyn polttoaineen vastaanottoaltaan vesi kerran polymäisellä CsTreat:illa ja kerran polymäisellä CoTreat:illa.
- Dounreayn nopeiden reaktoreiden käytöstäpoiston yhteydessä 1500 tonnia natrium/kalium-jähdytettä puhdistettiin muutamalla sadalla kilolla CsTreat:a.
- USAssa Savannah River:n laitoksella puhdistettiin noin 20 000 m³ vettä vanhasta polttoaine-elementtien purkualtaasta. Allas kuuluu entiseen sotilaalliseen asemateriaalin tuotan-



Selektiivisillä ioninvaihtimilla merkittäviin kustannussäästöihin

NURES-tuotteet, CsTreat, SrTreat ja CoTreat, ovat epäorgaanisia, erittäin selektiivisiä ioninvaihtimia, jotka poistavat tehokkaasti cesiumia, strontiumia ja korroosiotuotteita, erityisesti kobolttia, erilaisista radioaktiivisista nesteistä. Ne tosin sanoen nappaavat hanakasti itseensä nesteessä olevia radioaktiivisia aineita ja sitovat ne itseensä erittäin lujasti. Samalla ne luovuttavat – ”vaihtavat” – nesteeseen tavallisia vaarattomia suola- ja vetyioneja.

Koska CsTreat, SrTreat ja CoTreat ovat äärimmäisen selektiivisiä, ne ovat myös erittäin kustannustehokkaita. Yhdellä kilolla ioninvaihdinmassaa pystytään puhdistamaan kymmeniä tai jopa satoja kuutiota radioaktiivista vettä, joten loppusijoitettavaksi jää siis tällöin vain yksi kilo säteilevää materiaalia.

Esimerkkinä voisi ajatella, että meillä on 25 metriä pitkän, 10 metriä leveän ja keskisyvytydeltään 2 metrisen uimaaltaallisen verran eli 500 kuutiometriä radioaktiivista vettä, niin NURES® -käsittelyn jälkeen meillä on parhaimmillaan 500 kuutiometriä puhdasta vettä ja korkeintaan muutaman maitopurkillisen verran radioaktiivista ainesta.

Kun verrataan tätä radioaktiivisen veden betonointiin – yhdestä kuutiometristä radioaktiivista vettä syntyy 2,5 – 3 kuutiota säteilevää betonia loppusijoitettavaksi – voidaan helposti päätellä, että kysymys on ainutlaatuisen kustannustehokkaasta ratkaisusta. Säästöt ovat miljoonaluokkaa.



Fukushima Dai-ichin radioaktiivisia nesteitä puhdistetaan Nures-järjestelmällä. Kuvassa näkyy yksiköiden 3 ja 4 purkutöiden etenemistä kuvattuna 5.9.2012. Kuva: Tepco.

toreaktoriin.

- JAERIn ydintutkimuskeskuksessa laadittiin jälleenkäsittelyssä syntyneistä nesteistä CsTreat:iin noin 8,5 TBq/kg ja SrTreat:iin noin 6,3 TBq/kg.
- Parhaimmat mitatut puhdistuskerroimet ovat luokkaa miljoonia, eli aktiivisuusutasoja pystyttiin laskemaan yli kuusi kertalukua.

Uusin projekti Fukushimaassa

Viimeisin, ja ehdottomasti suurin projekti alkoi, kun viime joulukuussa tuli puhelinsoitto Tokiosta. Soittaja oli yhdysvaltalaisen EnergySolutions LLC:n edustaja, joka kertoi, että Fortumin NURES-tuotteet, CsTreat ja SrTreat, olivat suoriutuneet erittäin hyvin radioaktiivisten nesteiden puhdistustesteissä Fukushima Dai-ichi -voimalaitoksella.

Tieto oli mykistävä, vaikka sitä oli osattu odottaa. Fukushimaa vesien puhdistusurakka on valtava, ja tehtyjen testien perusteella Fortumin NURES-tuotteet, CsTreat ja SrTreat, valittiin vuoden 2012 alussa avainteknologiaksi kontaminoituneen veden käsittelemiseksi.

Tavoitteena on käsitellä seuraavan kahden vuoden ajan 500 kuutiota vettä vuorokaudessa alle säteilylle asetettujen raja-arvojen.

Materiaalien toimitus alkoi heinäkuussa, ja on kokoluokaltaan kaikkien aikojen suurin NURES-tuotteiden toimitus. Kysymys on tuhansista kiloista, kun yleensä käymme kauppaa kiloista tai kymmenistä kiloista.

Tämä selittyy sillä, että ydinvoimalaitoksen normaalissa toiminnassa äärimmäisen tehokkaiden tuotteidemme menekki on luonnostaan pieni, kun taas Fukushimaassa on kysymys erittäin vaka-

vasta onnettomuudesta, jossa on erotettava huomattavia määriä aktiivisia aineita alle mittausrajoja oleviin arvoihin.

Rakennettava uusi järjestelmä on varsin monivaiheinen ja haastava operoida, sillä liuoksessa on läsnä yli 50 eri radionuklidia. Sen käyttöönotto alkaa syksyllä 2012. Tätä järjestelmää edeltävissä vaiheissa kyetään erottamaan huomattava osa kesiumista, mutta ei kovin paljoa strontiumista.

Koko järjestelmän on kyettävä erottamaan kaikki määritellyt nuklidit pitoisuuksiin, jotka ovat alle annettujen mittausrajojen. Tämän takia järjestelmän tehokkuus ei perustu ollenkaan yksin NURES-tuotteisiin, mutta kaikista testatuista kaupallisesti saatavilla olevista aineista CsTreat ja SrTreat onnistuivat noiden kahden kohdenuklidin erotuksessa parhaiten.

Vaikka järjestelmä otetaan käyttöön syksyllä 2012, voi olla että CsTreat:n ja SrTreat:n todellinen tehokkuus tulee esiin vasta vuosien kuluttua.

Yksi tehokkuuteen liittyvä asia on loppusijoitettavan jätteen määrä. Näitä tuotteita käyttämällä voimayhtiö saa esimerkiksi kesiumia erottavan massan tilavuuden tuhanteen osaan verrattuna zeoliitin, eli yhden merkittävän kilpailija käyttöön. Lisäksi erittäin korkea selektiivisyys NURES-tuotteissa antaa merkittävästi paremman puhdistusasteen kuin kilpailevat tuotteet.

Valmistus Suomessa - käyttö pääosin ulkomailla

NURES-materiaalien valmistus perustuu patentoituun teknologiaan. Koska menetelmät ovat monimutkaista ja vaativat tarkalleen oikean reseptin ja valmistus-

menetelmän, materiaalien valmistus pidetään omissa käsissä.

Näin menetellen valmistuneiden tuotteiden laatu voidaan täysin kontrolloida. Samoin mahdollisten ongelmien sattuessa syiden selvittäminen onnistuu näin paremmin.

NURES-tuotteista ja niiden sovelluksista on kirjoitettu lukuisia artikkeleita tieteellisiin julkaisuihin sekä kierretty esiintymässä symposiumeissa ja konferensseissa.

Usein juuri näistä tapahtumista selektiivisten aineiden käyttäjät etsivät ratkaisuja omiin haasteisiinsa. Tätä kautta Fortumille onkin rakentunut laaja ydinjätealan tutkijoiden, asiantuntijoiden ja toimijoiden verkosto, jossa tieto kulkee tehokkaasti. Se on tärkeä edellytys myös liiketoiminnan menestykselle.

Kirjoittaja:

Esko Tusa

Fortum Power and Heat Oy

Ydinjäteteknologian johtava asiantuntija

NURES-tuotepääällikkö

esko.tusa@fortum.com



Käärmeitä ja kovapanosammuntoja 20.-22.5.2012

YTERAn ensimmäinen vuosiseminaari Tvärminnessä

Ydintekniikan ja radiokemian tohtoriorjelman YTERAn ensimmäinen vuosiseminaari käynnistyi kesäisen sään merkeissä yhteensä 50 osallistujan voimin Tvärminnen eläintieteellisellä tutkimusasemalla.

Helsingin yliopiston hallinnassa olevalla tutkimusasemalla näkyvät rantaviivassa ja kallioilla selvät jääkauden jäljet antaen hyvää aikaperspektiiviä ydinenergia-alan hankkeisiin, jotka edellyttävää myös pitkän aikavälin sitoutumista.

“100 vuotta on ainakin se aikajänne, johon sitoudutaan, kun uutta ydinvoimalaitosta rakennetaan” totesi YTERAn johtaja professori *Rainer Salomaa* seminaarin avauspuheenvuorossaan.

Ensimmäiset YTERA-vuosiseminaarin osallistajat saapuivat Tvärminneen jo sunnuntaina. Tvärminneen johtava tie toivotti tulijat tervetulleeksi puolustusvoimien toivotuksella, jossa todettiin, että Syndalenin alueella suoritetaan alkavan viikon aikana kovapanosammuntoja.

Tie kulkee harjoitusalueen lävitse.

Seminaarijärjestelijät YTERA-koordinaattori ja YTERAn johtaja paikkasivat tutkimusaseman viikonloppuisin suljetuna olevaa ravintolaa käteville mikrovalmisteilla. Kokit onnistuivat hyvin tehtävässään eikä ruoka loppunut kesken.

**Seminaarin teemat:
esittäytyminen ja verkostoituminen**

Maanantaiaamu valkeni yhtä kauniina kuin edellinenkin ilta. Loput seminaarilaisetkin saapuivat paikalle ja itse seminaari pääsi käynnistymään osallistujien sekä osallistuja-organisaatioiden esittelystä. YTERAn partneriorganisaatiot VTT, STUK, Fennovoima, Fortum, Po-

siva ja TVO esittelivät omia tutkimus- ja tuotekehityskohteitaan sekä kertoivat siitä kuinka paljon jatkotutkimuksen suorittaneita heillä on töissä ja miten he tukevat jatko-opintoja omassa organisaatiossaan.

TEMin osaamistyöryhmän uuteen raporttiin viitattiin myös (Kansallisen ydinenergia-alan osaamistyöryhmän raportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto 2/2012). Siinä selvitettiin alan henkilöstötarvetta vuoteen 2025. Prof. Salomaa totesikin avauspuheessaan sekä YTERAn että vuosiseminaarin ajankohtaisuuden ottaen huomioon juuri tehdyn selvityksen tulokset.

Lounaan jälkeen YTERA-jatko-opiskelijat esittelivät omia tutkimustuloksiaan mukaan lukien alansa taustan kuvaukset ja jatkosuunnitelmat. Esitykset oli jaettu kahdelle päivälle, ensimmäisenä päivänä esittelyssä oli kuusi tutkimushanketta.

Tämän jälkeen **Liisa Heikinheimo** TVO:lta esitteli GENIII/III+ ydinvoimalaitoksiin liittyviä tutkimuksen tavoitteita ja tutkimustarpeita.

Päivän päätteeksi YTERAn jatko-opiskelijat pitivät oman kokouksensa ja valitsivat opiskelijaedustajaksi YTERAn johtoryhmään **Heikki Suikkasen** (LUT) sekä tälle varaedustajiksi **Lauri Rintalan** (Aalto) ja **Mervi Söderlundin** (HY). Lisäksi YTERA-johtoryhmä kokoontui, pääaiheenaan seitsemännen OKM-rahoitteen YTERA-opiskelijan valinta kovatasoisten hakijoiden joukosta. Tiukan pohdinnan jälkeen valituksi tuli **Evgenii Malitckii** prof. **Hannu Hämmisen** (Aalto) tutkimusryhmästä.

YTERA pyrkii toimimaan kaikkien ydintekniikan ja radiokemian alan jatko-opiskelijoiden sateenvarjona. YTERAssa on 7 OKM-rahoitteen jatko-opiskelijan lisäksi yli 20 muulla rahoituksella jatko-opiskelevaa. Liitännäisjäseneksi liitytään vapaamuotoisella hakemuksella (<http://physics.aalto.fi/studies/ytera/>).

Toinen päivä käynnistyi kesäisellä ukkoskuurolla

Aamuisen ukkoskuuron jälkeen **Marjatta Palmu** aloitti toisen päivän geologisen loppusijoituksen tutkimusyhteisön (IGD-TP) esittelyllä. IGD-TP:n strateginen tutkimusagenda on merkittävä ohjausväline alan eurooppalaiselle tutkimus-, kehitys- ja demonstraatiotyölle.



Syndalen, äänekäs naapuri.

Keynoten jälkeen esiteltiin YTERA-yliopistojen tutkimustyötä alkaen Helsingin yliopiston radiokemian laboratorion (HYRL) tutkimuksella ja koulutuksella. **Risto Harjula** kertoi, että HYRL on merkittävä toimija ydinjätehuollon ja ydinlaitoskemian sekä ympäristön radioaktiivisuuden tutkimuksessa YTERAn toiminta-alueella.

Seuraavana vuorossa olivat Aalto-yliopiston ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston ydinenergia-alan osaamisen esittelyt, esittelijöinä ydintekniikan professorit **Rainer Salomaa** ja **Riitta Kyrki-Rajamäki**. Aalto ja LUT ovat yliopistot, joissa voi laajimmin opiskella ydintekniikan eri osa-alueita Suomessa ja joilla on merkittävä tutkimuspanostus ydinenergia-alalla.

Aamupäivän ohjelmassa seurasi kaksi voimallaitosten rakentamiseen liittyvää keynote-esitystä. **Pentti Varpasuo** Fortumilta kertoi ydinvoimalaitosten rakentamisen ja rakenteiden tutkimushaasteista, minkä jälkeen **Juha Matikainen** Fennovoimalta kertoi kokemuksia uuden laitospaikkakunnan valinnasta ja siitä kuinka Pyhäjoen Hanhikivi valittiin.

Iltapäivällä jatkettiin YTERAn jatko-opiskelijoiden tutkimuksen esittelyjä. Vuorossa olivat vastikään väitelleet ja pitemmälle edistyneet jatko-opiskelijat, jotka jakoivat kokemuksiaan omista tutkimuksistaan.

Päivä päätettiin vielä kahteen keynote-luontoon. **Jaakko Leppäsen** (VTT) lu-

ento käsitteli reaktorianalyysiä ja Monte Carlo -simulaatio-ohjelmisto Serpentin kehitystyötä. VTT:n lisäksi Aalto ja LUT osallistuvat Serpent-kehittämiseen. Professori **Jukka Lehdon** (HY) päivän ja seminaarin viimeinen keynote-luento käsitteli käytetyn polttoaineen loppusijoituksen kemian tutkimushaasteita sekä HYRLissä tehtävää tutkimusta.

Lähtölaukaus ammuttu, jatkoa seuraa

Tiistai päättyi loppukeskusteluun ja kurssilaisten palautteeseen. Todettiin, että seminaari auttoi tiedon levittämistä siitä, mitä YTERAn alueella tehdään, sillä YTERA on monitieteellinen tohtorikoulu. Samalla seminaari antoi hyvän tilaisuuden osallistujien ja jatko-opiskelijoiden tutustua toisiinsa. Seminaarin jälkeen YTERAlaiset perustivat sähköpostilistan keskinäiseen yhteydenpitoon.

YTERA tarjoaa hyvän yhteistyöverkoston paitsi alan jatko-opiskelijoille myös alan organisaatioille. Koulutus on ydinenergia-alalla keskeinen painopiste, ja samalla se on neutraali alue, jolla voidaan jatkaa yhteistyötä eri toimijoiden kesken.

Kirjoittajat:

Marjatta Palmu

DI, MBA, vanhempi asiantuntija

Posiva Oy

marjatta.palmu@posiva.fi

Jarmo Ala-Heikkilä

TkT, opettava tutkija

YTERA-koordinaattori

Aalto-yliopisto

jarmo.ala-heikkila@aalto.fi

Kuvat: **Marjatta Palmu**

OKM-rahoitteisten YTERA-opiskelijoiden esittely ja tutkimusaiheet



Eric Dorval,
Aalto-yliopisto

Fast reactor modelling by Monte Carlo methods

Master studies at Balseiro Institute, Argentina

Work experience at PBMR and NECSA, South Africa

Research plan:

- Model fast reactor neutronics by state-of-the-art Monte Carlo methods
- Fast reactor stability analysis
- Kinetic parameter calculations with Monte Carlo



Risto Vanhanen,
Aalto-yliopisto

Uncertainty propagation in fast neutron transport calculations

Master studies at Aalto

Research plan:

- Estimate the effects of parameters to responses
- Find out which parameters cause the largest uncertainties to responses
- Uncertainties in reaction rates for burnup calculations, possibly in MYRRHA fast reactor



Mervi Söderlund,
Helsingin yliopisto

Behaviour of niobium and selenium in soils

Master studies at HY

Research plan:

- Investigate the sorption of Nb and Se on soil
- Speciation analysis from liquid and solid phases
- Determine the sorption mechanism of Nb on iron oxide
- Determine the effect of divalent cations on the sorption of oxyanions



Sinikka Virtanen, Helsingin yliopisto

Competitive sorption of radionuclides to mineral surfaces

Master studies at HY

Research plan:

- Start with the characterization of the minerals
- Assess the effect of competitive sorption to the retention of radionuclides in soil
- Use spectroscopic methods for more information about the speciation of the radionuclides at the mineral-solution interface



Giteshkumar Patel,
Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Numerical modeling of condensing flow in pressure suppression pool system and in low pressure steam turbine

Master studies at The Maharaja Sayajirao University of Baroda, India, and at LUT

Research plan:

- Analysis of direct contact condensation of steam for containment structural design
- Implement models to CFD code and validate with POOLEX/PPOOLEX experiments
- Analysis of condensing flow in LP steam turbine



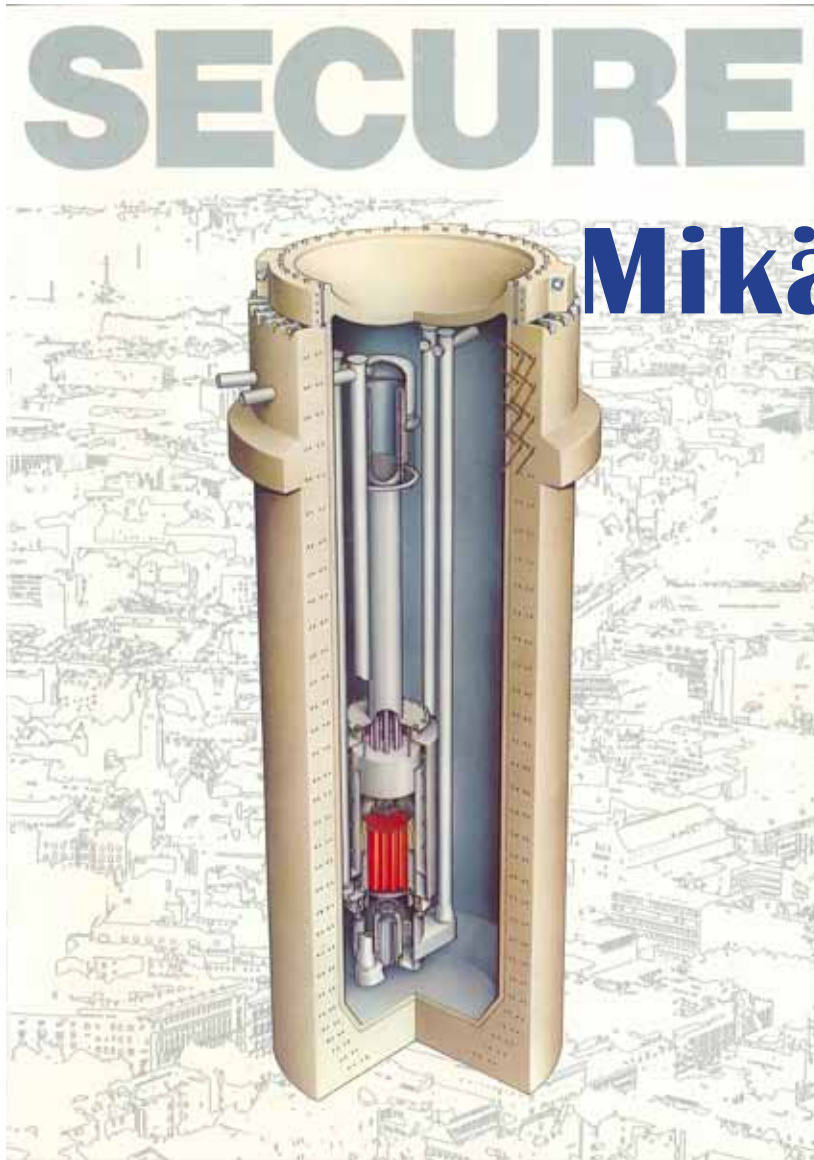
Heikki Suikkanen,
Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Multiphysics modeling of pebble bed reactor core

Master studies at LUT

Research plan:

- Coupled calculation system for fuel pebble interactions, heat transfer and reactor physics
- Modeling pebble packing
- Thermal-hydraulic model development
- Coupling with neutronics calculation



Mikä se oli?

Jokainen nuoremman polven ydintekniikan ammattilainen on kuullut huhuja tai tarinoita kaukolämpöreaktorista, jota suunniteltiin Helsinkiin 1980-luvun vaihteessa.

SECURE (Safe Environmentally Clean Urban REactor) oli ydinkäyttöinen kaukolämpölaite, joka suunniteltiin vuosina 1977-1977 Asea-Atom Ab:n johdolla suomalais-ruotsalaisena yhteishankkeena.

Reaktorin suunnittelun tarkoituksena oli kehittää miehittämätön, tuontiölystä riippumaton ja tavanomaisten aseiden hyökkäykselle immuuni lämpölaite.

Tähän päästiin käyttämällä passiivisiä käyttö- ja turvajärjestelmiä, matalaa käyttöpainetta sekä laitoksen sijoittamista kalliioon.

SECUREn laitoskonseptia on syytä lähestyä katsomalla laitoksen yleisjärjestelyä (kuva 1). Maanpinnalla laitoksesta on ainoastaan hätätilanteissa käytettävä jäähdystorni sekä hallintorakennus.

Kallion sisälle johtaa ajokuilu sekä hissi. Kaikki ydintekniset laitteet sijaitsevat kolmessa luolassa. Nämä ovat säh-

köjärjestelmäluola, apujärjestelmäluola sekä reaktorihalli.

Reaktorihallissa sijaitsee kaksi allasta: suojarakennusallas sekä polttoaineen siirtosäiliön allas.

Käytetty polttoaine välivarastoidaan esijännitetystä betonista valmistettuun suojarakennusaltaaseen, jossa on myös reaktori.

Käytön aikana suojarakennusallas on täytetty booratulla vedellä ja suljettu painetiiviisti betonikannella.

SECUREn reaktoripaineastia on periaatteessa PWR-tyyppinen, mutta se on valmistettu esijännitetystä betonista.

Paineastiasta lähtee kaksi kiertopiiriä, jotka kulkevat höyrystimien sijasta lämmönvaihtimiin. Lämmönvaihtimista reaktorin tuottama lämpö siirtyy sekundäripiiriin ja siitä edelleen kaukolämpöverkkoon.

Nykyajan ydinturvallisuusihmisen sil-

mään pistää se, että kiertopiirin kylmän haaran yhde on reaktoripaineastian alaosassa, mutta tämä on tietoinen ratkaisu. Kiertopiirin rakenne on olennainen osa laitoksen turvallisuuskonseptia.

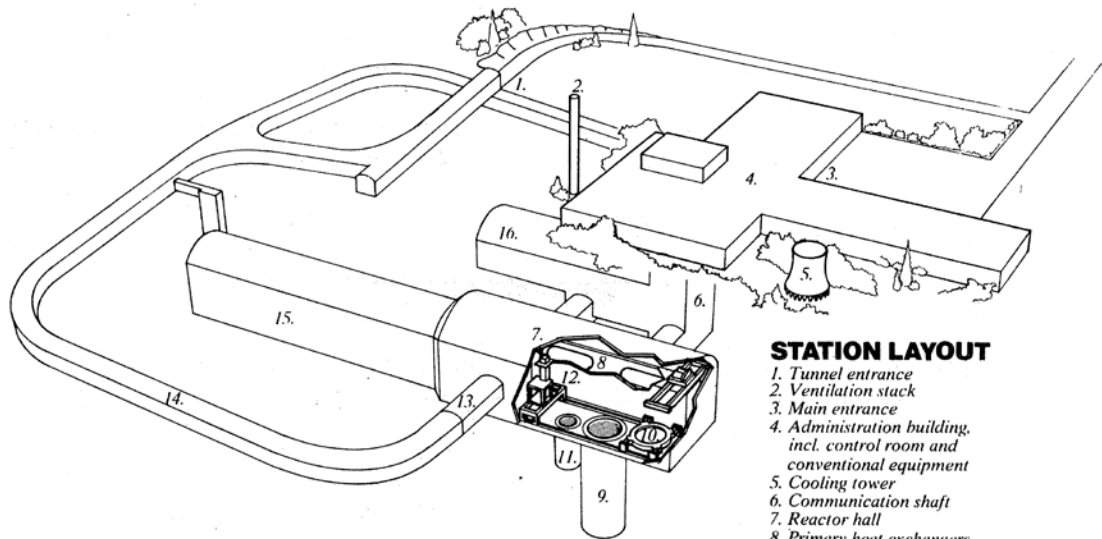
Primääripiiri

SECURE-reaktorissa ei ole lainkaan säätösauvoja. Sen sijaan reaktiivisuutta säädetään normaalitilanteessa ainoastaan booria laimentamalla.

Hätätilanteessa ja vuosihuoltoon mentäessä reaktori tehdään luotettavasti alikriittiseksi pudottamalla polttoainesauvojen vesikanaviin booriteräspalloja.

SECUREn passiivisen turvallisuuden perusratkaisuna oli se, että reaktori on painetasapainossa ympäröivän reaktoritalaan kanssa.

Reaktorin alaosassa on virtausaukot, joiden kautta boorattu allasvesi voi



Kuva 1. Laitoslayout. Kuvassa numero 9 on reaktoriallas, numero 7 reaktorihalli, numero 15 apujärjestelmäluola sekä numero 16 sähkölaiteluola. Lähde: Nilsson, L., Hannus, M., SECURE Nuclear District Heating Plant.

tunkeutua reaktoriin. Yläosassa on kaasukello, joka on samassa paineessa reaktorialtaan yläosan kanssa. Järjestelmää pitävät tasapainossa sydämen painehäviö sekä pääkiertoputkien kuumiin haaroihin sijoitetut venturiputket.

Mikäli virtaus laskee, reaktorisydämen painehäviö pienenee. Tämän seurauksena reaktorin yläosan paine kasvaa ja siellä oleva kaasukupla supistuu. Reaktoriin virtaa boorattua vettä altaasta ja reaktori sammuu.

Mikäli virtaus tai reaktoripaine puolestaan kasvavat, ohivirtauslinjassa olevat venturisuodattimet kavitoivat, jolloin pääkiertovirtaus heikkenee. Tätä seuraa samanlainen pikasulku kuin pumpun sammussa: kaasukupla supistuu ja boorattu vesi virtaa reaktorisydämeen.

Merkittävimmän uhan reaktorin reaktiivisuudenhallinnalle muodostivat paineen nousutransientit. Tällaisissa tapauksissa venturiputkien kavitaatiovirtaus nousisi, mikä estäisi pikasulun. Tältä suojauduttiin suojarakennusaltaan paineenalennusventtiileillä.

Primääripiirin paineen noustessa reaktorialtaan paine pudotettaisiin puhaltamalla reaktorihalliin. Viimeistään tämä aiheuttaisi boorin virtauksen reaktoriin ja sammuttaisi reaktorin.

Reaktorialtaassa oli lisäksi murtolvyt, jotka painovoimaisesti toimivat toimilaitteet murtaisivat, mikäli reaktorialtaan pinta laskisi liian alas.

Reaktorialtaan paineettomaksi tekeminen johtaisi boorattun jäädytteen virtaamiseen reaktorisydämeen ja var-

mistaisi, että reaktori sammuu.

Apujärjestelmät

SECURE-laitoksen suojausautomaatio perustuu 2/4-logiikkaan, joka suunniteltiin toteutettavaksi integroiduilla piireillä.

Vanhempien ruotsalaisten kiehutusvesilaitosten tapaan alajärjestelmät suunniteltiin sijoitettaviksi palo-osastoihin pareittain: kummassakin palo-osastossa olisi kaksi toisistaan riippumatonta alajärjestelmää.

Ohjausautomaatio puolestaan perustui 2/3-logiikkaan. Turvallisuustoimintoja oli kolme: boorinsyöttö primääripiiriin, pääkiertopumpujen pikasulkupysäytys sekä reaktorihallin ilmastoinnin eristys. Reaktorialtaan paineenalennus ei ollut automaatiotoiminto, sillä reaktorialtaan murtolvyt aukesivat painovoimatoimisesti ilman ulkoista valvontaa.

SECURE-laitokselle oli suunniteltu paikallisvalvomo, mutta tämä oli tarkoitus pitää miehittettynä ainoastaan seisokien sekä ylös- ja alasajon aikana.

Muutoin oletettiin, että voimayhtiöllä olisi henkilöstöä, joka ehtisi laitokselle 30 minuutin varotusajalla. Lisäksi oletettiin, että laitoksella käytäisiin tekemässä tarkastuskierros ainakin kerran päivässä.

SECUREn sähköjärjestelmä vastasi tavanomaista lämpövoimalaitosta eikä siinä ollut varmennusta lukuunottamatta automaation akkuvarmistettua sähkönsyöttöä. Muutoin sähkönsyöttö on var-

mistettu yhdellä dieselgeneraattorilla.

Reaktorin jälkilämmönpoistoa varten oli kaksi menetelmää: varsinainen prosessijärjestelmä, jolla syötettiin lämpöä kaukolämpöverkkoon sekä dieselvarmistettu jälkilämmönpoistojärjestelmä (järjestelmä 721), jolla reaktorin lämpötila pidettäisiin alle 40 °C seisokin aikana.

Lisäksi tällä järjestelmällä oli tarkoitus hoitaa pitkän aikavälin jälkilämmönpoisto pääkiertopiirin putkikatkon jälkeen. Jälkilämmönpoistotoiminto oli yksittäisvikasietoinen mekaanisilta osiltaan, mutta koska sähkönsyöttöä ei ollut varmistettu, ei se liene ollut yksittäisvikasietoinen sähkönsyötön osalta.

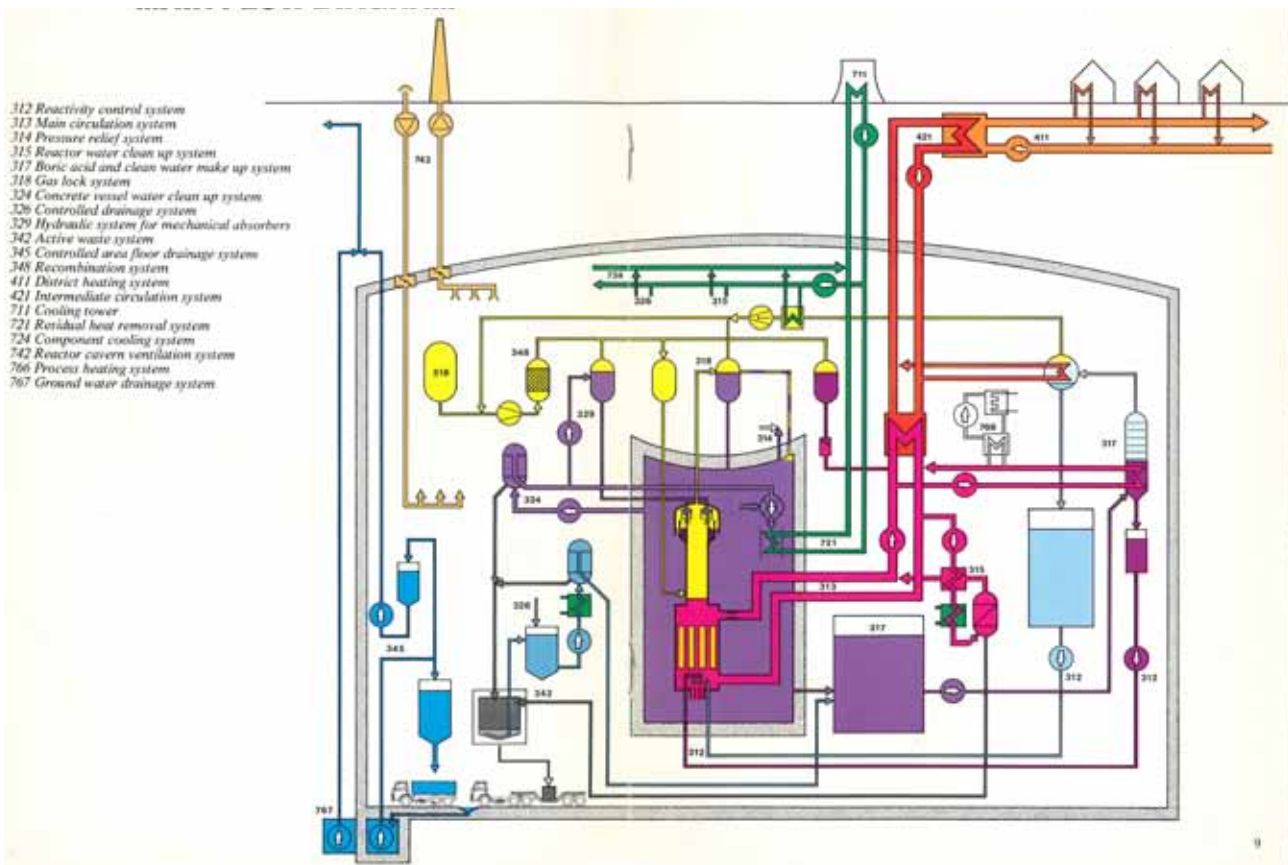
Jätehuolloltaan SECURE suunniteltiin erittäin yksinkertaiseksi. Laitoksessa on tavanomaiset reaktori- ja allasveden puhdistuspiirit, jotka eivät olennaisesti eroa käytössä olevista ydinvoimalaitoksista.

Sen sijaan aktiivisia jätteitä ei käsitellä mitenkään. Jätevedet, hartsit sekä muut voimalaitosjätteet ainoastaan kootaan talteen ja kuljetetaan pois tavanomaiselle ydinvoimalaitokselle, jossa ne käsitellään ja loppusijoitetaan.

Vaikka nykynäkökulmasta ajatus vaikuttaa oudolta, se on taloudellisesti järkevä. Suunnitteluajanaan, 1980-luvun vaihteessa, ydinjätekuljetuksiin ei vielä liittynyt Saksasta tuttuja mielenosoituksia.

Turvallisuusjärjestelmät

SECUREn suunnittelun tärkeimpinä



Kuva 2. SECUREn pääkiertokaavio. [1] Keskellä betoninen, painetiivis reaktoriallas, jonka sisällä on avoin reaktori. Pääkiertopiiriin muodostaa järjestelmä 313, joka siirtää tehon kaukolämpöverkkoon (411) välipiiriin 412 kautta. Suuri osa apujärjestelmistä muodostuu kahdesta osajärjestelmästä, mikä ei ilmene piirroksista.

perusominaisuuksina olivat pääkiertopumppujen pysähtyminen sekä primääripiiriin putkikatko reaktorialtaan ulkopuolella.

Näistä pääkiertopumppujen pysähtyminen oli oikeastaan laitoksen pikasulkutoiminto, jolla suojausautomaatio vastasi useimpiin muihin käyttöhäiriöihin.

Länsimaisten ydinvoimalaitosten perinteinen suunnitteluperuste onnettomuus on primääripiiriin putkikatko. Suureen primääriputkeen vastattiin passiivisella turvallisuudella.

Putkikatko lisäisi virtausta pääkiertopiirissä, mikä aiheuttaisi venturiputken kavitaation ja reaktorin passiivisen pikasulun. Tämän jälkeen vesi laskisi reaktorialtaassa, kunnes reaktorialtaan painovoimainen paineenalennus laukeaisi ja veden pinta laskisi altaassa vuotokohdan alapuolelle.

Vedenpinnan lopullinen taso olisi kuitenkin niin korkealla, että luonnonkierto reaktorissa jatkuisi ja jäähdyttäisi polttoaineen. Suuren putkivuodon jälkeen laitoksen henkilökunnalla olisi 24 tuntia aikaa palauttaa reaktorialtaan jäähdytys ennen kuin vesi alkaisi altaassa kiehua.

Huomattava poikkeus normaaliin laitosuunnitteluun nähden oli se, että suojarakennuksen ruiskutusjärjestelmää tai sy-

dämen hätäjäähdytysjärjestelmää ei ollut.

Ajatuksena oli, että mahdollisessa putkivuodossa reaktorihallin kalliiseinat absorboisivat vapautuvan lämmön, minkä jälkeen normaali jälkilämmönpoistojärjestelmä riittäisi jälkilämmönpoistoon. Samoin, koska putkikatko-tilanteessa reaktori tulvittuisi passiivisesti, ei myöskään polttoaineen hätäjäähdytys ollut tarpeen.

Suojarakennuksen käsite ylipäänsä oli SECUREssa jossain määrin häilyvä. Toisaalta reaktorialla oli itse asiassa primääripiiriin painetta kantava osa ja hoiti useimmat primääripiiriin tehtävät, mutta varsinainen primääripiiri ulottui reaktoriluolaan.

Tämän vuoksi reaktori- ja apujärjestelmärakennuksia olisi nykyisten YVL-ohjeiden mukaan pidettävä suojarakennuksen osina. Näitä tiloja ei kuitenkaan käsitelty suojarakennuksena normaalissa länsimaissa mielessä. Ainoa eristystoiminto oli ilmastoinnin hätäeristys. Muissa laitoksesta pinnalle nousevissa linjoissa ei ollut eristysventtiilejä.

Yhteenveto

SECURE-reaktori muistuttaa huomattavasti useita nykyisiä pieniä, modulaarisia reaktoreita. Reaktori oli periaatteessa pai-

nevesireaktori, jossa suojarakennuksena toimi pienehkö paineastia. Kuten modulaarisissa reaktoreissa yleensä, myös SECUREssa oli luovuttu useista tavanomaisten ydinvoimalaitosten turvallisuusjärjestelmistä ja pyritty korvaamaan nämä erilaisilla passiivisesti toimivilla turvallisuustoiminnoilla.

Artikkelin toisessa osassa käsitellään sitä, miten SECURE täyttäisi nykyiset suomalaiset turvallisuusvaatimukset.

Artikkelin jälkimmäinen osa käsittelee sitä, miten Secure-konsepti suhtautuu nykyaikaisiin turvallisuusvaatimuksiin. Se julkaistaan ATS Ydintekniikan seuraavassa numerossa.

Kirjoittaja:

TkT Mikko Lemmetty

Ryhmäpäällikkö

TVO

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



Radiokemian laitoksen perustamisesta 50 vuotta

Radiokemian laitoksen perustamisen 50-vuotisjuhlaa vietettiin 16.8.2012 noin 120 radiokemistin ja yhteistyökumppanin kanssa. Juhlapuheessaan professori Jukka Lehto tiivisti radiokemian synnyn Suomessa kolmeen kirjaimeseen - JKM - Jorma K. Miettinen, yksi tieteen akateemikoista.

Helsingin yliopiston radiokemian laitoksen perustamisajankohtana pidetään 1.7.1962, jolloin biokemian laitoksen dosentti Jorma K. Miettinen määrättiin hoitamaan virkaatekevänä radiokemian professorin virkaa. Sitä ennen hän oli vierailut useissa ulkomaisissa tutkimuslaitoksissa tutustumassa radioisotooppien käyttöön.

Erinomaisen pohjan Suomessa 1956 aloittamalleen radioisotooppikoulutukselle JKM oli hankkinut osallistumalla 1953 Pariisissa Curie-instituutissa järjestettyyn kaksi kuukautta kestäneeseen radioisotooppikouluun.

Varsinaisen radiokemian laitoksen suunnittelun voidaan katsoa alkaneen 1956, kun JKM vieraili Yhdysvalloissa erilaisissa

isotooppilaboratorioissa ja atomitutkimuskeskuksissa. Laitosta suunnitellessaan JKM joutui arvioimaan Suomen radiokemian tarpeet ja radiokemian kehityksen pitkälle eteenpäin ratkaistessaan mitä suuria tutkimuslaitteita ja erikoisaloja laitoksen tulisi sisältää.

Lokakuussa 1957 eduskunta hyväksyi atomienergiain ja Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteellinen osasto teki esityksen radiokemian professorin virasta ensimmäisen kerran. Radiokemian laitoksen toiminta alkoi ennakkoon 1959 kun suurta kansainvälistä huomiota herättänyt Lapin radioaktiivisuutta koskeva projekti käynnistyi Atomienergiainneuvottelukunnan määrärahojen turvin.

Vuonna 1964 JKM nimitettiin pysyvästi radiokemian professorin virkaan, joka jatkui aina vuoteen 1987 asti. Radiokemian professoreina *Timo Jaakkola* (1989–2000), *Olof Solin* (2002–2003) ja *Jukka Lehto* (2005–) ovat jatkaneet JKM:n luomaa perintöä. Kumpulaan muuton yhteydessä vuonna 1995 radiokemian laitoksesta tuli yksi kemian laitoksen laboratoriosta säilyttäen kuitenkin käytännössä itsenäisen asemansa.



Juhlan yhteydessä jaettiin Luonnontieteiden Akateemisten Liiton Radiokemistien jaoston myöntämät Jorma K. Miettisen ansiomitalit STUK:n tutkimus- ja ympäristövalvontaosaston johtaja Tarja K. Ikäheimoselle ja HYRL:n yliopistonlehtori Marja Siitari-Kaupille.



Radiokemian professorit Jorma K. Miettinen ja takana oikealta lähtien Timo Jaakkola, Jukka Lehto ja Olof Solin.

Jorma K. Miettinen aloitti radioaktiivisten aineiden käytön kemiallisessa tutkimuksessa 1952, aloitti alan opetuksen Helsingin yliopistossa 1956 ja aloitti ilmakehässä tehtyjen ydinasekoekoiden seurauksena syntyneen radioaktiivisen laskeuman tutkimuksen ympäristössä ja ravintoketjuissa 1959.

Ydinasekoelaskeuman vaikutusten selvittäminen olikin radiokemian laitoksen tärkein tutkimusalue 1960- ja 1970-luvuilla. Tärkein tutkittu radioaktiivisia aineita rikastava ravintoketju oli Lapissa jäkälästä poron kautta poronhoitajasaamelaisiin tahtunut radioaktiivisen kesiumin rikastuminen, minkä selvittäminen oli ainutlaatuisen kattavaa ja pitkäkestoista.

1970-luvulla ympäristötutkimus kohdistui transuraaneihin, plutoniumiin ja amerikumisiin, mistä saatua asiantuntemusta tarvittiin Tsernobylin ydinlaitosonnettomuuden radioaktiivisen laskeuman kartoittamiseen. Plutoniumin ja amerikumien lisäksi selvitettiin curiumin ja neptuniumin alueellinen jakautuminen koko Suomen alueella.

1990-luvulta alkaen radiokemian laboratorion ympäristötutkimus on suuntautunut luonnon radioaktiivisten aineiden, uraanin, radiumin, poloniumin ja radiolyijyn, käyttäytymisen selvittämiseen, erityisesti porakaivosvesissä, metsäympäristössä ja kaivosjätteissä.

Suomeen rakennettujen neljän ydinreaktorin myötä 1980-luvun alusta suurimmaksi tutkimusalueeksi muodostui käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen ja ydinjäteliuosten käsitelyyn liittyvä kemia. Radiokemian laboratoriossa on tullut keskeinen kansallinen ja myös kansainvälisesti merkittävä asiantuntijaorganisaatio, jossa tutkitaan laajasti ydinpolttoaineesta peräisin olevien pitkäikäisten radionuklidien kulkeutumista ja pidentymistä kallio- ja maaperässä.

Radiokemian laboratoriossa viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana kehitettyjä ja Fortumin tuottamia ydinjäteliuosten puhdistamiseen tarkoitettuja ainutlaatuisia ioninvaihtimia on viimeisen kahden vuosikymmenen aikana käytetty useilla ydinlaitoksilla maailmassa.

Viimeisin ja toistaiseksi suurin sovellutus on kahden vaihtimen tuleva käyttö Fukushiman ydinlaitosonnettomuudessa syntyneiden, erittäin aktiivisten jäteliuosten puhdistamisessa. Kumpulaan vuonna 1998 hankitun syklotronin myötä laboratorion radiolääkeainetutkimus laajeni yhdeksi päätutkimuskohdeksi.

Syklotronilla tuotetuilla lyhytikäisillä radionuklideilla leima-

taan orgaanisia molekyylejä radiolääkeaineiksi käytettäviksi sairaaloissa kliiniseen diagnostiikkaan, lääketieteelliseen tutkimukseen ja lääkeainekehitykseen, joka nykyään laboratorion tärkein tutkimuksen kohde.

Monipuolisen tutkimuksen lisäksi radiokemian laboratorio on Suomessa ainoa kokonaisen radiokemian maisteriohjelman tarjoava yliopistoyksikkö, jonka opetusohjelma on maailmanlaajuisesti ainutlaatuisen kattava.

Useiden arvioiden mukaan vain muutama yliopisto maailmassa edes lähentelee opetuksen laajuutta ja tasoa. Vuosien varrella radiokemiasta on valmistunut yli 180 maisteria ja 36 tohtoria. Radiokemian laboratorion tavoitteet korkealla, tulla kansainvälisesti johtavaksi radiokemian yliopistoyksiköksi.

Käytössä jo olevien hyvien tilojen, laitteiden ja rahoituksen sekä kokeen ja motivoituneen henkilökunta lisäksi täytyy myös keskittyä perusasioihin ja tuottaa enemmän ja laadultaan parempia maisteri- ja tohtoritutkintoja ja tieteellisiä julkaisuja.

Helsingin yliopiston tervehdyksen toi rehtori Thomas Wilhelmsson, joka puheessaan korosti radiokemian laboratorion merkitystä ja erikoisosaamista kansallisena ja kansainvälisenä yksikkönä. Sanallisen historiikin jälkeen juhlaväki pääsi hyvin radiokemian laitoksen alkuaikojen tunnelmaan katsomalla vuonna 1977 valmistuneen mustavalkoisen lyhytelokuvan ”Säteilevät saamelaiset”, joka aikanaan kuului myös Jorma K. Miettisen luennoiman radiokemian peruskurssin opetusmateriaaliin.

Keväällä 1976 kokokehomittausten aikana kuvatun materiaalin lisäksi filmissä on mukana runsaasti JKM:n kevään 1962 saamelaitutkimusten aikana kuvaamaa materiaalia. Radioke-mistitriön – *Anu Airaksinen* (huilu), *Nina Huittinen* (huilu) ja *Mia Pehkonen* (klarineti) – musiikkiesityksen jälkeen juhla jatkui päivällisellä viihdykkeenä kuvakavalkadi radiokemian laitoksen alkuvuosista nykypäivään.

Teksti:

TkT Pirkko Hölttä

Vanhempi tutkija

Radiokemian laboratorio

pirkko.holtt@helsinki.fi

Kuvat: Seppo Kaksonen, SK-FOTO

Gen-IV -reaktorifysiikan tutkimus VTT:llä NETNUC-projektissa

NETNUC-projektia käsiteltiin ATS Ydintekniikan numerossa 1/2012. Kokonaisuus täydentyy vielä VTT:n osiolla.

Reaktorifysiikassa mallinnetaan neutronien käyttäytymistä reaktorissa, mikä vaatii neutronien kuljetusyhtälön ratkaisemista joko deterministisesti tai stokastisesti simuloimalla. Kuljetusyhtälöä tarkastellaan tyypillisesti ajasta riippumattomana ominaisarvo-ongelmana, jolloin ratkaisuksi saadaan neutroni- ja tehojakauman lisäksi systeemin aikariippuvuutta kuvaava ominaisarvo — kasvutekijä.

Ydinreaktorissa polttoaineen materiaali- ja koostumus muuttuu jatkuvasti sekä radioaktiivisen hajoamisen että neutronireaktioiden myötä. Kuljetusyhtälöstä ratkaistun neutronijakauman perusteella on mahdollista laskea systeemin nuklidien muutosnopeudet ja muodostaa palamayhtälöt, jotka kuvaavat nuklidikonsentraatioiden muutosta ajan funktiona. Palamalakennassa kuljetusyhtälö

ja palamayhtälöt ratkaistaan toistuvasti vuorotellen, jolloin tarkasteltavaa systeemiä voidaan simuloida ajassa eteenpäin haluttuun ajankohkaan saakka.

Reaktorifysiikan laskentamenetelmät voidaan jakaa deterministisiin numeerisiin menetelmiin ja Monte Carlo -simulointiin. Jatkuvaenerginen Monte Carlo -laskenta soveltuu kaikenlaisien reaktorien mallinnukseen mutta on laskennallisesti raskasta. Deterministiset laskentaohjelmat ovat tyypillisesti laskennallisesti tehokkaampia, mutta niissä joudutaan tekemään soveltuvuutta rajoittavia oletuksia mallinnettavan systeemin ominaisuuksista.

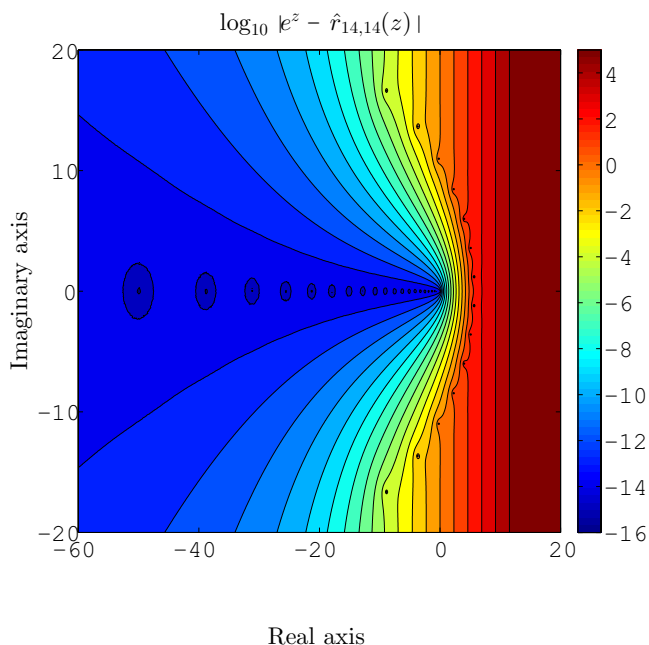
Suurin osa Gen-IV -konsepteista on nopeita reaktoreita, joiden laskentaan termisille reaktoreille tarkoitettujen determinististen reaktorifysiikkaohjelmien ei voi sovelloa. NETNUC-projektissa tutkimus

on keskittynyt palamalakentamenetelmien kehittämiseen VTT:n Monte Carlo reaktorifysiikkaohjelmaan Serpent. Lisäksi nopeita reaktoreita on mallinnettu deterministisellä ERANOS-ohjelmalla ja yleisesti käytössä olevalla Monte Carlo -ohjelmalla MCNP.

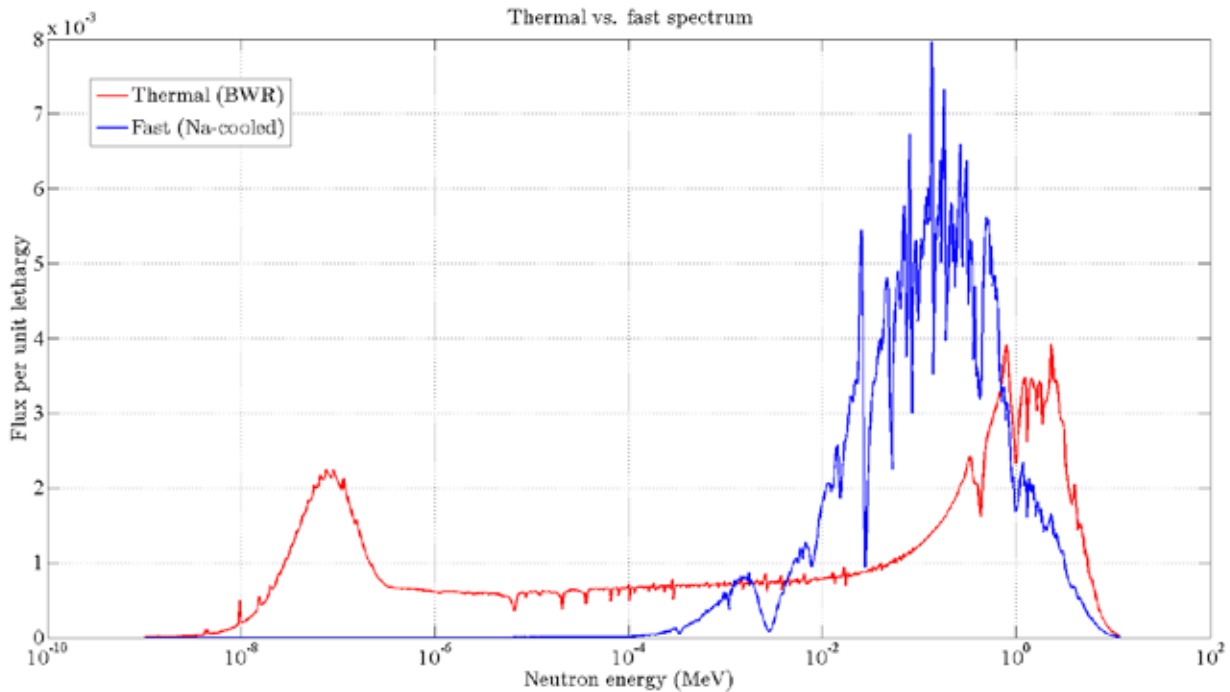
Palamalakentamenetelmien kehitys

Palamayhtälöt muodostavat ensimmäisen kertaluvun differentiaaliyhtälösystemin, joka voidaan periaatteessa ratkaista matriisieksponentin avulla. Koska eri nuklidien puoliintumisaajat vaihtelevat dramaattisesti, ongelma on numeerisesti huonosti asetettu, ja matriisieksponentin laskemista kaikki nuklidit sisältävälle systeemille on aikaisemmin pidetty käytännössä mahdottomana. Ongelmaa hankaloittaa myös käytettyjen aika-askelten suuri vaihteluväli muutamasta tunnista useisiin kuukausiin ja jopa tuhansiin vuosiin, jos tarkastellaan pelkkää radioaktiivista hajoamista.

Näiden syiden vuoksi matriisieksponentin laskennassa on jouduttu tarkastelemaan yksinkertaistettua systeemiä, jossa osa nuklideista jätetään huomioimatta tai niiden kontribuutio approksimoidaan erillisellä semianalyttisellä käsittelyllä. NETNUC-projektissa tutkittiin ensimmäistä kertaa systemaattisesti palamamatriisien matemaattisia ominaisuuksia. Yksi päätuloksista oli, että palamamatriisien ominaisarvot sijaitsevat kompleksitasossa negatiivisen



Kertaluvun 14 Chebyshevin rationaaliproksimaation tarkkuus kompleksitasossa logaritmisella asteikolla.



Kuva havainnollistaa termisen ja nopean reaktorin neutronispektrien eroja esittämällä kaksi tyypillistä spektriä.

reaaliakselin läheisyydessä, mitä voidaan hyödyntää palamähtälöiden ratkaisemisessa.

Osoittautui, että Chebyshevin rationaalinen approksimaatio negatiivisella reaaliakselilla on sekä hämmästyttävän tarkka että nopea menetelmä palamatriisin eksponentin laskemiseen ja mahdollistaa ensimmäistä kertaa kaikki nuklidit sisältävän systeemin käsittelyn kerralla. Menetelmä toteutettiin Serpentiin jo tutkimuksen alkuvaiheessa, mikä paransi sekä palamalaskujen tarkkuutta että nopeutta.

Nopeiden reaktorien mallinnus

NETNUC-projektin alkuvaiheessa VTT:llä ei ollut käytettävissä nopeiden reaktoreiden mallintamiseen soveltuvia deterministisiä ohjelmia, joten laskenta oli tehtävä Monte Carlo -ohjelmilla. Käytetyt ohjelmat olivat Serpentin beta-versio PSG sekä tunnettu yhdysvaltalainen MCNP. Näillä toistettiin japanilaisen natriumjähdytteisen JOYO-kooreaktorin mittauksiin perustuva reaktorifysiikan benchmark-tehtävä.

Laskuissa molemmat ohjelmat tuottivat varsin yhdenmukaisia tuloksia, mutta erot kokeellisiin tuloksiin olivat paikoin huomattavia. Erityisesti tuloksista oli nähtävissä Monte Carlo -menetelmän riittämättömyys pieniin reaktiivisuusmuutoksiin perustuvissa

tapauksissa. Esimerkiksi tehovakauden kannalta tärkeälle natriumin aukko-osuusreaktiivisuudelle oli mahdotonta saada mielekkäitä tuloksia siedettävällä laskenta-ajalla. Tämä johtui Monte Carlo -menetelmän suuresta tilastollisesta epätarkkuudesta suhteessa reaktiivisuusmuutokseen.

Tämä esimerkki osoittaa, että laskentatehon jatkuvasta kasvusta huolimatta deterministisiä laskentaohjelmia tarvitaan edelleen. VTT:llä otettiin käyttöön ranskalaisen CEA:n hallinnoima modulaarinen ERANOS-ohjelmistopaketti. Ohjelmiston käyttökelpoisuuteen tutustuttiin aluksi laskemalla Na-jähdytteisen ZPR-6/7 reaktorin benchmark-tehtävä ja tämä työ on esitelty diplomityötiivistelmänä ATS Ydintekniikan edellisessä numerossa.

Laskujen tarkoituksena oli tutustua ERANOS-ohjelmiston eri moduulien ja niitä ohjaavien parametrien valinnan merkitykseen. Samalla kerättiin lisätietoa siitä, millaisia tuloksia ohjelmaversio 2.2 antaa verrattuna mittauksiin käytettynä yhdessä JEFF-3.1 ja -3.1.1-pohjaisten ydinvakiokirjastojen kanssa.

Benchmark-tehtävistä laskettiin kriittisyysturvallisuusmalli ja kaksi erilaista natriumin aukko-reaktiivisuuskonfiguraatiota. Tulokset olivat vaihtelevia ja osittain yllättäviäkin. Jälkimmäiseen kategoriaan kuuluu esimerkiksi havainto, jonka mukaan laskentatarkkuuden teoreettinen lisääminen menetelmään

liittyvää parametria säätämällä saattaa heikentää tuloksen tarkkuutta verrattuna kokeellisiin mittaustuloksiin. Kaiken kaikkiaan projektista opittiin, että ERANOS-koodin täysimittainen käyttö vaatii runsaasti lisäperehtymistä.

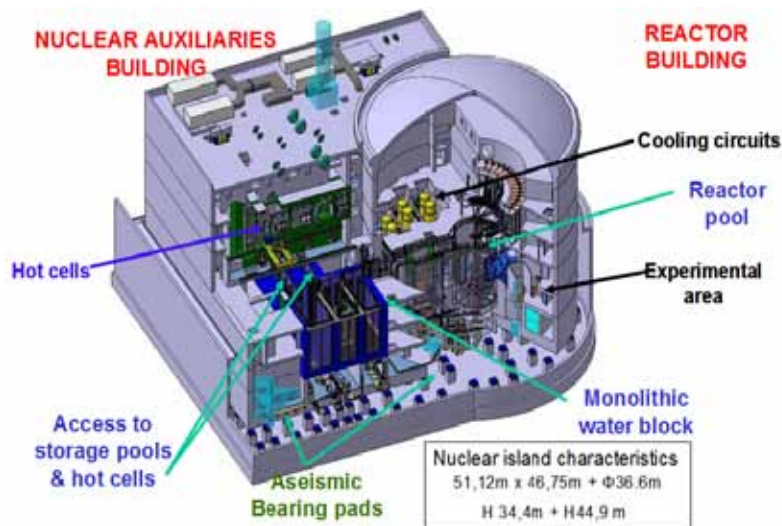


DI Pauli Juutilainen
Tutkija
VTT
pauli.juutilainen@vtt.fi



DI Maria Pusa
Tutkija
VTT
Maria.Pusa@vtt.fi

Jules Horowitz materiaalien tutkimusreaktori (JHR)



Suomi osallistuu VTT:n johdolla uuden eurooppalaisen materiaalien tutkimiseen tarkoitettun ydinreaktorin, Jules Horowitz -reaktorin (JHR), suunnitteluun ja toteutukseen.

JHR lyhyesti

- Teho 100 MW
- Tilavuusteho 600 kW/l
- Hidastimena vesi
- Reflektorina vesi ja beryllium
- Jäähdytteenä vesi
- Maksimi nopeiden neutroneiden vuo (> 0.907 MeV) 6.4×10^{14} n/cm²/s
- Maksimi termisten neutroneiden vuo (< 0.625 eV) 7.3×10^{14} n/cm²/s
- Jäähdytteen lämpötila sydämeen mentäessä 25 °C ja ulostullessa 41°C
- Jäähdytteen nopeus sydämessä 15 m/s
- Virtausuunta sydämessä nouseva
- Maksimi väkevöintiaste 20%
- Keskimääräinen pinnan lämpövuoto polttoaineen pinnalla 190 W/cm²
- Maksimi pinnan lämpövuoto polttoaineen pinnalla 500 W/cm²
- 235U sydänmassa 21 kg

JHR:n on tarkoitus korvata vanhenevia tutkimusreaktoreita sekä luoda tutkimusvalmiuksia tulevaisuuden reaktoriteknologioille. JHR rakennetaan Cadaracheen, Ranskaan vuosina 2008–2016.

Tutkimusreaktorin rakennuttaa ranskalainen tutkimusorganisaatio CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) ja sen rakentaa AREVA. Reaktorin teho on 100 MW.

VTT on osana kansainvälistä konsortiota tuottamassa tutkimuslaitteita reaktoriin ns. in-kind -hankkeessa. Konsortion muut tutkimusosapuolet ovat CIEMAT (Espanja), SCK (Belgia), NRI (Tšekki), DAE (Intia), JAEA (Japani) ja IAEC (Israel). Lisäksi hankkeeseen osallistuvat EDF ja AREVA Ranskasta, Vattenfall Ruotsista sekä Euroopan komissio.

JHR rakennetaan paitsi korvaamaan elinikänsä päätä lähestyviä muita eurooppalaisia tutkimusreaktoreita myös tuottamaan tietoa kokonaan uudella valmiuksilla.

JHR:ssä on tavoitteena tutkia mm.

- uusien materiaalien ja polttoaineiden reaktorikäyttämistä ja kvaifointia sekä turvallisuuden kannalta keskeisiä ominaisuuksia,
- materiaalikäyttämistä erilaisissa ympäristöissä (kevytvesireaktori-, kaasu- tai sulametalliympäristö),
- erilaisia transientteja turvallisuus-analyysijä varten ja suuren neutronivon vaikutuksia.

Reaktorissa on suunniteltu tutkittavan niin nykyisen käytössä olevan toisen sukupolven, rakenteilla olevan kolmannen sukupolven kuin suunnitteilla olevan neljännenkin sukupolven reaktorimateriaaleja ja ympäristöjä. Lisäksi JHR:ää tullaan käyttämään merkittävässä määrin isotooppiuotannossa.

Suomalainen ydinlaaja mukana

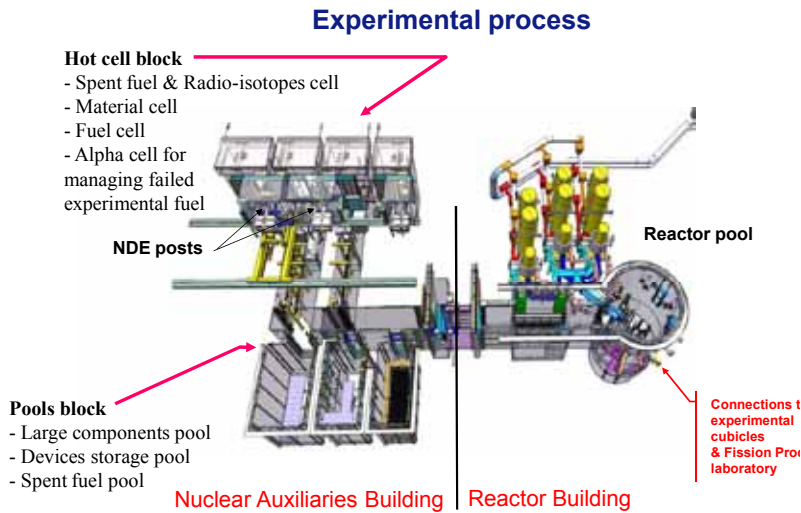
Suomen in kind -projekti toteutetaan Teakes-projektina, jossa rahoittajina toimi-

vat Tekesin ja VTT:n lisäksi Teollisuuden Voima, Fortum, Fennovoima ja Posiva. Lisäksi projektiin osallistuu muutamia alihankkijoita laitteistosuunnittelun ja valmistuksen osalta sekä Säteilyturvakeskus ja Työ- ja elinkeinoministeriön asiantuntijaorganisaatioina. VTT toimittaa mittalaitteita reaktoriin 10 M€:n arvosta vuoden 2005 valuutassa.

VTT:n ja CEA:n yhteistyönä on sovitettu suunniteltavaksi ja toimitettavaksi kolme mittalaittekokonaisuutta:

Vedenalaiset gammaspektrometria- ja röntgenradiografiamittauslaitteet reaktoriltaan ja käytetyn polttoaineen varastoalalle

Nämä mittaukset ovat JHR:n keskeisimpiä mittauksia, joilla hankitaan tietoa erilaisten polttoaineiden palamista ja isotooppikoostumuksista ja rakenne-



Jules Horowitz (1921-1995) oli ranskalainen ydinfyysikko. Hän syntyi Puolassa, pakeni antisemitismiä Puolasta Weimariin, Saksaan ja edelleen Ranskaan.

Lahjakas fyysikko kehitti merkittävästi reaktorilaskentaa ja oli luomassa Ranskasta ydinvoimateknologioiden edelläkävijää. Jules Horowitz oli lisäksi lahjakas kielitieteilijä ja kirjailija.

JHR:ssä on tavoitteena tutkia mm. uusien materiaalien ja polttoaineiden reaktorikäyttäytymistä ja kvalifiointia sekä turvallisuuden kannalta keskeisiä ominaisuuksia. Tutkimuskohteena on myös materiaalien käyttäytyminen kevytvesireaktori-, kaasui- tai sulametalliympäristössä sekä erilaiset transientit turvallisuusanalyysijä varten ja suuren neutronivuon vaikutukset.

Mittausten avulla selvitetään miten polttoaine käyttäytyy tietynlaisessa konstruktiossa, joka voi olla esim. tulevaisuuden reaktoreihin ajateltu, tai millaisia radioaktiivisia hajoamistuotteita polttoaineesta syntyy.

Gammasppektrometria- ja röntgenradiografiamittauslaitteet kuumakammioihin

Kuumakammioissa eli hot cell:ssa tehdään vastaavia mittauksia kuin reaktorialtaassakin, mutta hot cell:ssa voidaan tutkia yksittäisiä polttoainesauvoja polttoainepinnoista sijasta.

Mekaaninen aineenkoestuslaitteisto materiaalien ominaisuuksien tutkimiseksi reaktorin sydämessä

Servopneumaattisesti ohjatulla aineenkoestuslaitteistolla voidaan tutkia materiaalien mekaanisia ominaisuuksia reaktorin sydämessä säteilyn alaisissa olosuhteissa. Näin saadaan selville miten säteily vaikuttaa materiaalin kestävyys-teen, mikä taas on keskeinen tieto reaktoreita tai niiden komponentteja suunniteltaessa ja ikääntymistä arvioitaessa. Uutta toimitettavassa teknologiassa on se, että laitteistolla on mahdollista saada

mittausdataa moniaksaalisessa kuormitustilanteessa eikä ainoastaan koekappaleen pituussuuntaisesti kuten perinteisessä materiaalien mekaanisen kestävyyskoestuksessa.

Tutkimuskapasiteetista 2 % varattu Suomelle

Toimitettavat laitteistot suunnitellaan VTT:n, CEA:n ja molempien organisaatioiden valitsemien alihankkijoiden yhteistyönä. Vuosina 2008–2011 toteutettiin in kind -projektin ensimmäinen ns. feasibility -vaihe, jossa in kind -toimituksen tarkempi tekninen sisältö sovittiin ja tehtiin ns. esisuunnittelu.

Vuosina 2012–2013 toteutetaan projektin seuraava eli design -vaihe, jolloin lopulliset tekniset suunnitelmat laitteistolle tehdään. Vuosina 2014–2015 laitteistot valmistetaan ja testataan.

Lopullinen asennus reaktoriin on suunniteltu vuoden 2016 alkupuolelle. Suuri osa suunnittelu- ja valmistustyöstä kilpailutetaan kansainvälisesti. Mekaaninen aineenkoestuslaitteisto otetaan tuotantokäyttöön CEA:n OSIRIS-reaktorilla jo vuoden 2013 aikana.

Suomi saa tämän osallistumisen kautta 2 prosentin käyttöoikeuden reaktorin tutkimuskapasiteettiin ja pääsyn konsortion tutkimusohjelmiin.

Osallistuminen tällaiseen hankkeeseen parantaa suomalaisen ydinvoimateknologian kilpailukykyä ja antaa suomalaisille toimijoille tietoa, jota muuten ei olisi saatavissa.

Käyttöoikeutta voidaan halutessa vuokrata muille tahoille tai sitä voi jättää reserviin eli jos suomalaiset toimijat eivät yhtenä vuonna halua kokeita laitoksessa teettää, voi toisena vuonna tehdä sitten pidemmän jakson kokeita. Lopullinen laitoksen koeohjelma ja käyttö suunnitellaan koko kansainvälisen konsortion kesken CEA:n johdolla.

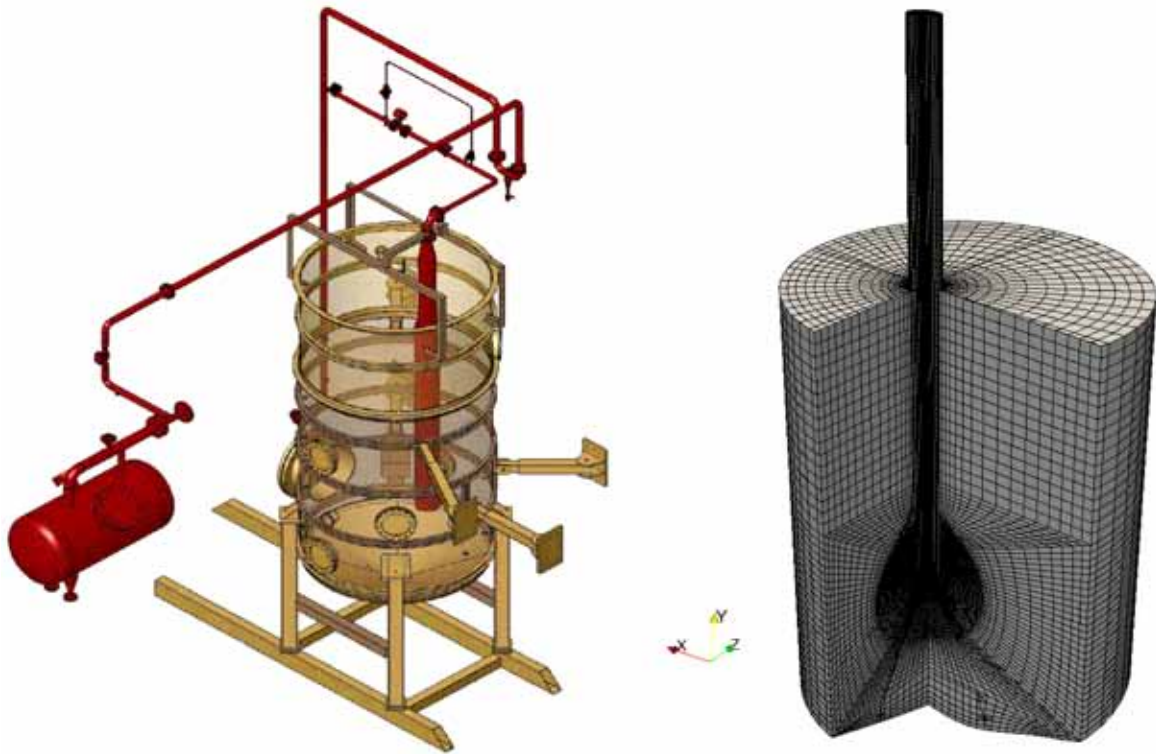
Petri Kinnunen esitteli hanketta ATS:n vuosikokouksessa 13.3.2012. Esitys on saatavissa ATS:n verkkosivuilta.

Petri Kinnunen
Tkt
VTT

JHR MTR Finnish
in kind -projektin
koordinaattori



Lauhdutusaltaan suoran kontaktilauhtumisen CFD-mallinnus käyttäen erottuneen virtauksen lauhtumismalleja



POOLEX-laitteisto ja 3D-laskentahila.

Väitöskirjassa mallinnettiin suoraa kontaktilauhtumista POOLEX-koelaitteistossa. Työssä sovellettiin hahmontunnistusta höyrykupliin sekä käytettiin EU-projekteissa NURESIM ja NURISP kehitettyjä CFD-ohjelmistoja.

Suojarakennuksen nopeasta paineenalennuksesta vastaava lauhdutusallas on keskeinen osa nykyisten BWR-laitosten ja todennäköisesti myös tulevaisuuden SCWR- ja fuusiovoimalaitosten turvallisuusjärjestelmiä. Lauhdutusaltaiden merkittävästä roolista huolimatta lauhdutusaltaassa tapahtuvat suorasta kontaktilauhtumisesta aiheutuvat ilmiöt pystytään nykyisellään mallintamaan varsin heikosti, mikä voi johtaa ylikonservatiivisiin ja virheellisiin oletuksiin

järjestelmän suorituskyvystä ja rakenteellisesta kestävydestä.

Tässä väitöstutkimuksessa mallinnettiin Lappeenrannan Teknisessä Yliopistossa (LUT) tehtyjä POOLEX-kokeita käyttäen EU-projekteissa (NURESIM ja NURISP) kehitettäviä NEPTUNE_CFD ja TransAT CFD-koodeja. Lämmönsiirtomalleina käytettiin CFD-käyttöön soveltuvia, mutta lähinnä erottuneelle kanavavirtaukselle suunniteltuja malleja. Työ aloitettiin mallintamalla matalan Reynoldsin

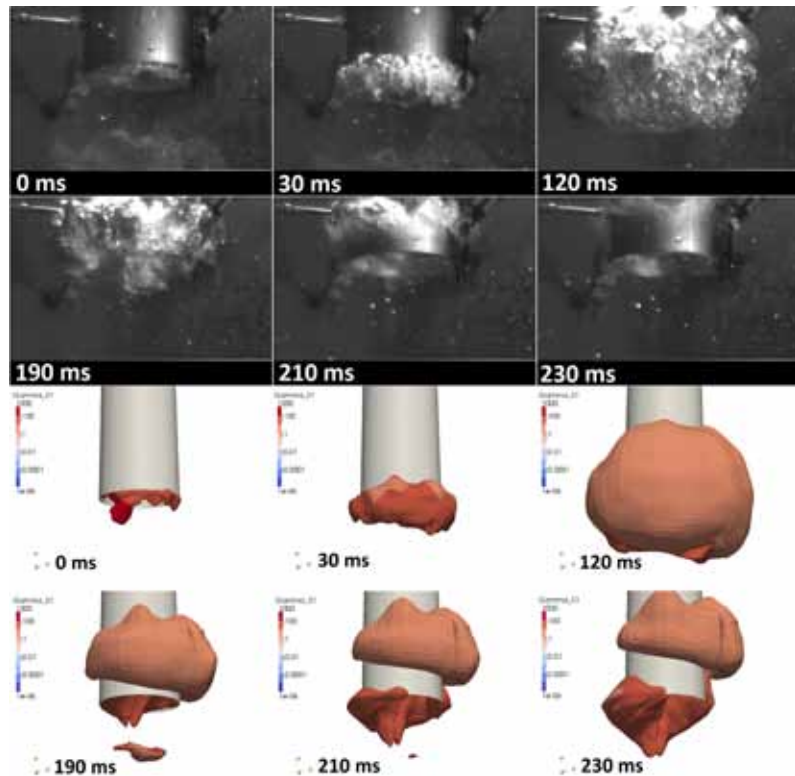
luvun höyrypuhalluskoetta. Kyseinen pienen höyryvirtauksen koetilanne vastaa mm. pitkäkestoista kerrostumisvaihetta lauhdutusaltaassa. Useiden lämmönsiirtomallien havaittiin yliarvioivan lauhtumisnopeuden, mutta kyseiseen tapaukseen hyvin soveltuva mallikin löytyi.

Korkean Reynoldsin luvun höyrypuhallukset ovat haastavia mallinnettavia tehokkaasta lämmönsiirrosta ja siitä seuraavasta nopeasta faasinmuutoksesta johtuen. Haastavuudestaan

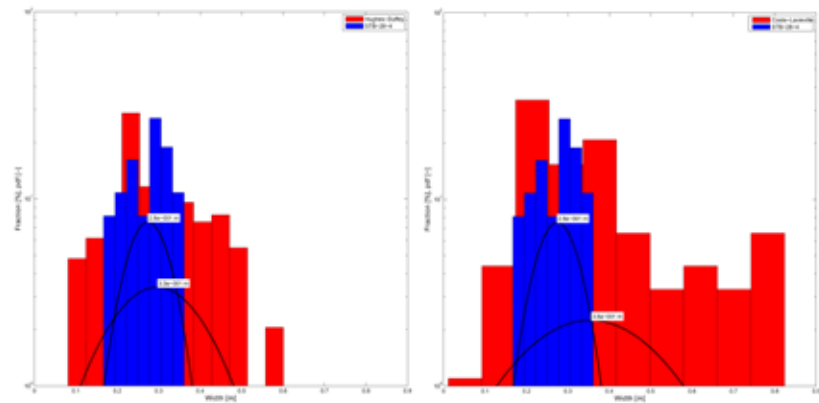
huolimatta myös tällaisen voimakasta paineoskillaatiota aiheuttavan chugging-lauhtumisen mallintamista päätettiin kokeilla. Havaittiin, että hyvällä laskentahilan muotoilulla ja höyrytaulukot sisältävällä CFD-koodilla tällaisenkin tapauksen laskenta saadaan pidettyä vakaana, minkä johdosta pitkäköön aikavälin, myös rajuja paineiskuja sisältävät simulaatiot tulivat mahdollisiksi. Toimivan simulaation lisäksi tuloksissa oli nähtävissä yllättävänkin realistista chugging-käyttäytymistä muutamilla lauhtumismalleilla.

Simulaatioiden ohella myös mitaustulosten analysointi muodosti merkittävän osan tästä väitöstyöstä. Lauhtumisnopeuden mittaaminen suoraan ei ole mahdollista voimakkaasti oskilloivassa chugging-virtauksessa, joten tässä työssä aihetta lähestyttiin epäsuorasti hahmontunnistuksen keinoin. Työssä kehitettiin alustava algoritmi kuplien tunnistamiseen ja mittaamiseen koikeista kuvatuista videomateriaalista. Algoritmin avulla saatiin arvioitua kuplien suuruusluokka ja esiintymistiheys höyrypuhallusputken suulla. Kyseiset, hyvin lauhtumisnopeuden kanssa korreloivat parametrit olivat saatavilla myös CFD-simulaatioiden aukko-osuuskehittädatasta, joten koike- ja simulaatiotulosten vertaaminen tätä kautta oli mahdollista. Kuplan esiintymistihejuuksia tarkasteltiin myös koelaitteistossa mitattujen painepulssien ja venymäliuskatulosten valossa ja löydettiin yhtäläisyyksiä.

Väitöskirjassa aloitettu työ jatkuu edelleen LUT:ssa. Hahmontunnistuksen kehittämisestä on tekeillä diplomityö ja CFD-laskentaa jatketaan uusissa projekteissa. Meneillään oleva mittausinfrastruktuurin parantaminen avaa myös uusia mahdollisuuksia yhä syvällisempään lauhdutusaltaan ilmiöiden tutkimukseen, niin akateemisessa kuin puhtaasti ydinturvallisuuteenkin tähtäävässä näkökulmassa.



Kuplan syntyminen ja luhistuminen kokeessa ja simulaatiossa.



Kuplan kokojakaumat kokeessa ja 2D-aksisymmetrisissä simulaatioissa kahdella eri lauhtumismallilla.

TkT Vesa Tanskanen
Tutkijatohtori
Ydinvoimatekniikan laboratorio
Lappeenrannan teknillinen yliopisto
vtanskan@lut.fi



Eksotermiset kemialliset reaktiot ydinreaktoreissa

diplomityössä on laadittu ehdotelma eksotermisiä kemiallisia kriteerejä koskevista teknologianeutraalien turvallisuuskriteereistä. Turvallisuuskriteerien lähtökohtana tulisi olla se, että eksotermiset kemialliset reaktiot pyritään estämään kokonaan.

Eksotermisellä kemiallisella reaktiolla tarkoitetaan lämpöä vapauttavaa kemiallista reaktiota. Onnettomuustilanteissa ydinvoimalaitoksissa käytettävät materiaalit voivat alkaa reagoita eksotermisesti, ja pahimmassa tapauksessa tästä voi olla seurauksena radioaktiivisten hiukkasten vapautuminen ympäristöön.

Kevytvesireaktoreissa mahdollisia eksotermisiä kemiallisia reaktioita ovat esimerkiksi zirkoniumin hapettuminen, vetyräjähdys ja tulipalot. Neljännen sukupolven reaktoreissa käytetään uudenlaisia materiaaleja, jolloin myös uudentyypiset eksotermiset kemialliset reaktiot, esimerkiksi grafiittitai natriumpalot, ovat mahdollisia.

Kevytvesireaktorien hallitsevasta asemasta johtuen nykyisin käytössä olevien turvallisuusmääräysten painopisteenä on kevytvesireaktorien turvallisuuden takaaminen. Neljännen sukupolven reaktorien turvallisuuskriteerien suunnittelu vaatii kuitenkin uusia näkökulmia niissä käytettävien uudenlaisten teknisten ratkaisujen ja materiaalien vuoksi. IAEA onkin laatimassa kaikille reaktorityypeille soveltuvia teknologianeutraaleja turvallisuuskriteerejä, joiden pohjalta voitaisiin laatia kullekin reaktorityypille sen erityispiirteet huomioivat teknologiaspesifit turvallisuuskriteerit. Näin voidaan saavuttaa korkea turvallisuustaso kaikissa uusissa ydinvoimalaitoksissa.

Nykyisissäkin turvallisuuskriteereissä eksotermiset kemialliset reaktiot on huomioitu, mutta kriteerit eivät muodosta yhtenäistä kokonaisuutta eksotermisten kemiallisten reaktioiden osalta. Esimerkiksi vetyräjähdyksiä koskevat kriteerit on esitetty erillään tulipaloja käsittelevistä kriteereistä.

Teknologianeutraaleissa turvallisuuskriteereissä eksotermisiä kemiallisia reaktioita koskevien kriteerien tulisi olla mahdollisimman selkeitä ja yksinkertaiset. Lisäksi niiden pitäisi pystyä kattamaan kaikki kyseeseen tulevat eksotermiset kemialliset reaktiot.

Seuraaviin peruseriaatteisiin nojautuen on diplomityössä laadittu ehdotelma teknologianeutraalien turvallisuuskriteerien eksotermisiä kemiallisia reaktioita käsittelevästä osuudesta. Turvallisuuskriteerien laatimisen lähtökohtana

tulisi olla se, että eksotermiset kemialliset reaktiot pyritään estämään kokonaan. Ne voidaan estää, jos eksotermisesti reagoivia aineita ei ole tai ne pystytään pitämään erillään toisistaan, tai jos lämpötilat saadaan pidettyä riittävän alhaisina. Jos eksotermisen kemiallinen reaktio kuitenkin pääsee tapahtumaan, tulisi sen seurauksia pyrkiä lieventämään.

Lisäksi diplomityössä on tutkittu neljännen sukupolven reaktoreissa käytettävien materiaalien kemiallista aktiivisuutta ja mahdollisia kemiallisia reaktioita. Työssä on myös tarkasteltu muutamia jo tapahtuneita ydinvoimalaitosonnettomuuksia kiinnittäen erityisesti huomiota niissä tapahtuneisiin eksotermisiin kemiallisiin reaktioihin. Diplomityössä on lisäksi kartoitettu muutamassa neljännen sukupolven reaktorissa eksotermisiin kemiallisiin reaktioihin johtavia tapahtumaketjuja ja niiden seurauksia.

DI-työ on hyväksytty Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa.

FM, DI Mariaana Talus
mariaana.talus@gmail.com



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

Sydänsulan käyttäytyminen paineastian sisällä vakavan onnettomuuden loppuvaiheessa

Diplomityössä sovellettiin MASCA-tutkimusohjelman tuloksia reaktorimittakaavaan arvioiden onnettomuusskenaarion vaikutusta sulan kemialliseen koostumukseen ja altaan kerrostumiseen sekä lopulta paineastian murtumiseen.

Vakava onnettomuus aiheuttaa tyypillisesti merkittävän radioaktiivisten fissionuotteiden päästön, joka johtuu useiden sisäkkäisten vapautumisesteiden pettämisestä. Erona suunnitteluperusteisiin onnettomuuksiin, vakavaan onnettomuuteen liittyy aina vähintään osittainen reaktorisydämen sulaminen. Vakavan onnettomuuden eteneminen on tyypillisesti jaettu alku- ja loppuvaiheeseen sekä ilmiömaailma paineastian sisäisiin ja ulkopuolisiin ilmiöihin.

Onnettomuuden loppuvaiheessa paineastian pohjalle voi muodostua iso sydänsula-allas, joka koostuu pääasiassa uraanidioksidista, zirkoniumista, zirkoniumdioksidista ja teräksen pääkomponenteista: raudasta, kromista ja nikkelistä. Sydänsula erottuu liukoisuusaukon perusteella kahdeksi erilliseksi faasiksi, joista toinen on oksidirikas ja toinen metallirikas. Metallifaasin on uskottu kerrostuvan oksidifaasin päälle pienemmän tiheydensä vuoksi. Koska metallit johtavat lämpöä oksideja paremmin, paineastiaan kohdistuva lämpökuorma on intensiivisin metallifaasin kohdalta; tämä aiheuttaa lopulta paineastian murtumisen.

OECD:n MASCA-kokeiden tulokset kuitenkin osoittivat, että mikäli sydänsulassa on tarpeeksi hapettumatonta zirkoniumia, uraania pelkistyy. Syntynyt metallinen uraani sekoittuu metallifaasiin kasvattaen sen tiheyttä merkittävästi, jopa niin paljon, että metallifaasista tulee raskaampi kuin oksidifaasista ja se painuu paineastian pohjalle alimmaiseksi. Tällöin sydänsula-altaan pinnalle voi syntyä vielä kolmas metallikerros, kun sydämen tukirakenteet jatkavat sulamistaan faasien erottumisen ja kerrostumisen jälkeen. Uraanin pelkistymiseen vaikuttaa oleellisesti myös seoksessa olevan raudan määrä.

Diplomityössä sovellettiin MASCA-tutkimusohjelman tuloksia reaktorimittakaavaan arvioiden onnettomuusskenaarion vaikutusta sulan kemialliseen koostumukseen ja altaan kerrostumiseen sekä lopulta paineastian murtumiseen. Analyysien tekemiseen käytettiin ranskalaisen IRSN:n ja saksalaisen GRS:n yhdessä kehittämää integraalista ASTEC-ohjelmaa (Accident Source Term Evaluation Code). Sydänsulan kemiallinen tasapaino määritettiin Chem Sheet -ohjelmistolla.

Onnettomuusskenaarioiksi valittiin jäädytteenmenetys eli LOCA (Loss of Coolant Accident) ja täydellinen sähkö-

menetys. Tärkein ero näiden kahden skenaarion välillä on zirkoniumin hapettumisaste, joka määrittää metallifaasin sijainnin. LOCA:ssa jäädytteenä toimiva vesi vuotaa primääripiiristä pois putkirikon vuoksi, jolloin hapettumisaste jää alhaisemmaksi, kuin sähkömenetystilanteessa, jolloin vesi hiljalleen kiehuu paljastaen lopulta sydämen. Reaktorityypinä mallinnuksessa käytettiin EPR:ää (European Pressurized water Reactor), jonka onnettomuudenhallinta-ideologiaan kuuluu sydänsulan jäädytys vasta paineastian ulkopuolella niin kutsutussa sydänsiepparissa.

Tutkimuksen tärkein tulos liittyi paineastian murtumiskohtaan. Perinteisessä kaksikerrosmallissa, jossa metallifaasi on oksidifaasin päällä, paineastia odotetusti murtui päällimmäisen metallifaasin kohdalta. Kolmikerrosmallissa puolestaan paineastian havaittiin murtuvan alimman metallikerroksen pinnan kohdalta. Edes päällimmäisen metallikerroksen paksuudella ei ollut merkitystä: lämmönsiirtopinta-alan pienentyminen kerroksen ohentuessa aiheuttaa suuremman lämpövuon paineastian seinämään.

Sulan kemiallinen tasapaino siis määrittää kumpi kerrosmaileista syntyy. Tässä työssä tehtiin oletuksin 42 %:n zirkoniumin hapettumisaste näytti olevan raja, jota pienemmillä arvoilla metallifaasi kerrostuu oksidifaasin alapuolelle. Tulos murtumakohdasta on merkittävä arvioitaessa onnettomuudesta aiheutuvaa lähdetermiä. Suojarakennukseen vapautuvan sydänsulan kemiallinen koostumus, määrä ja purkautumisnopeus vaikuttavat oleellisesti suojarakennuksen kuormituksiin.

Opinnäyte hyväksytty Aalto-yliopiston Insinöritieteiden korkeakoulussa 21.2.2012..

*DI Anna Nieminen
Research Scientist
Teknologian tutkimuskeskus VTT
anna.nieminen@vtt.fi*



Ydinvoimalaitoksen käyttöohjeet runouden muotona

Nykyaikaisessa ydinvoimalaitoksessa lähes kaikki toiminnot suoritetaan kirjallisen ohjeen perusteella. Vaikka operaattori osaisikin jonkin toiminnon ulkoa, hänen tulee silti merkitä sen vaiheet kirjalliseen tarkastuslistaan. Onnettomuus- ja häiriötilanteitten hoidossa kirjallinen ohje on vielä tärkeämpi. Lähtökohtana näissä tapauksissa on se, ettei operaattori tee ohjeistamattomia toimenpiteitä vaan suorittaa toiminnot täsmälleen kirjallisen ohjeen mukaan.

Kirjalliseen ohjeeseen nojautuminen edustaa kuitenkin vain yhtä suhtautumistapaa inhimilliseen luotettavuuteen. Platon, jonka aikana kirjoitustaito oli kreikkalaisessa kulttuurissa vielä epäilyttävä uutuus, piti kirjoitustaitoa turmiollisena, sillä kun asiat voi kirjoittaa muistiin, ei niitä tarvitse opetella ulkoa! Vielä 1900-luvun alussa suomalaisen kulttuuriin kuului olennaisena osana ulkoa opettelu.

Jos lähestyisimme voimalaitosten suunnittelua vanhankansan kansakoulunopettajan näkökulmasta, operaattorin katsotaisiin hallitsevan työnsä vasta sitten, kun hän osaa kaikki käyttöohjeet ulkoa.

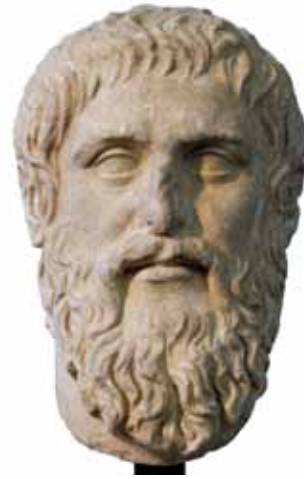
Mitä sitten merkitsisi ydinvoimalan käyttöohjeelle se, että ne olisi opeteltava ulkoa? Teknisen tarkastuslistan ulkoa opettelu on hankalaa ja raskasta eikä se onnistu käytännössä. Jotta luette- lon voisi oppia ulkoa, olisi se kirjoitettava runomuotoon:

*Pikasulku laukeaa,
aluksi siis tarkasta,
onko sauva joka ainut
reaktorin sisään painun't
Reaktoriohjaajan
pulpetista tiedon saan.
(sävel: Koska meitä käsketään)*

Tällaisella tyylillä kirjoitettua ohjetta voisi opetella ulkoa mappikaupalla. Lisäksi operaattorin olisi varsin rentouttavaa ja yksinkertaista suorittaa ohjaustoimenpiteitä oman hyräilynsä tahdissa. Tämä parantaisi osaltaan inhimillistä luotettavuutta.

Miksi sitten ilmeikkään ja inhimillisen runomuodon sijasta sovellamme laitoksella käyttöohjeita, jotka ovat kuivia, mitattomia teknisiä listauksia? Eikö runomuotoinen ohje parantaisi turvallisuuskulttuuria? Onko viranomaisen lyönyt laimin vaat- tia voimalaitoksilta runomuotoisia hätätilanneohjeita?

Tuskinpa kukaan meistä insinööreistä rakastaa mitatonta



Platon (n. 424–348 eaa.)
Kuva: Marie-Lan Nguyen /
Wikimedia Common

runoutta niin paljon, että pitää teknistä listausta esteettisesti miellyttävämpänä kuin lorumuotoista ohjetta. Syitä siihen, että emme käytä mitallisiksi riimiteltyjä ohjeita, on paljon. Eräs tärkeimmistä lienee se, ettei tämmöistä ulkoaopeteltua lorua voi muuttaa. Jos operaattori opettelisi ohjeen ulkoa, teknisten muutosten tekeminen laitokselle olisi todella vaikeaa, kun operaattorien pitäisi opetella uudet ohjelorut aiempien tilalle. Kirjallista ohjetta on paljon helpompi muuttaa.

Ennen kaikkea syynä listamuotoisiin käyttöohjeisiin taitaa kuitenkin olla se, ettei meistä voimalaitoksen käyttöohjeiden kirjoittajista ole runoilijoiksi.



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 Palmi 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 vuodes-
sa.
ISSN-0356-0473
Painotalo Miktor Oy

Vuoden 2012 lehtien teemat:
1/2012
Gen IV
2/2012
Ydinvoimalaitosten
sähkölaitteet
3/2012
Seniorit
4/2012
Syysseminaari 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 sihteerin:
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 Kai Salminen
kai.salminen@fennovoima.fi
FM Sini Gahmberg
sini.gahmberg@tvo.fi
Haastattelutoimittaja:
DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@welho.com





**ATS:n
uudet jäsenet**

Varsinaiset jäsenet:

Antti Teräsvirta, Fortum
Raimo Kaipainen, TVO
Jyrki Virtanen, Fortum
Ulla-Maija Piiparinen, TVO
Joonas Telkkä, LUT

Opiskelijajäsen:

Jarno Kolehmainen, VTT

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