

# ATS

3|2022

Vol. 51

## YDINTEKNIikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

### Otaniemen tutkimusreaktorin purkamisen alkamassa

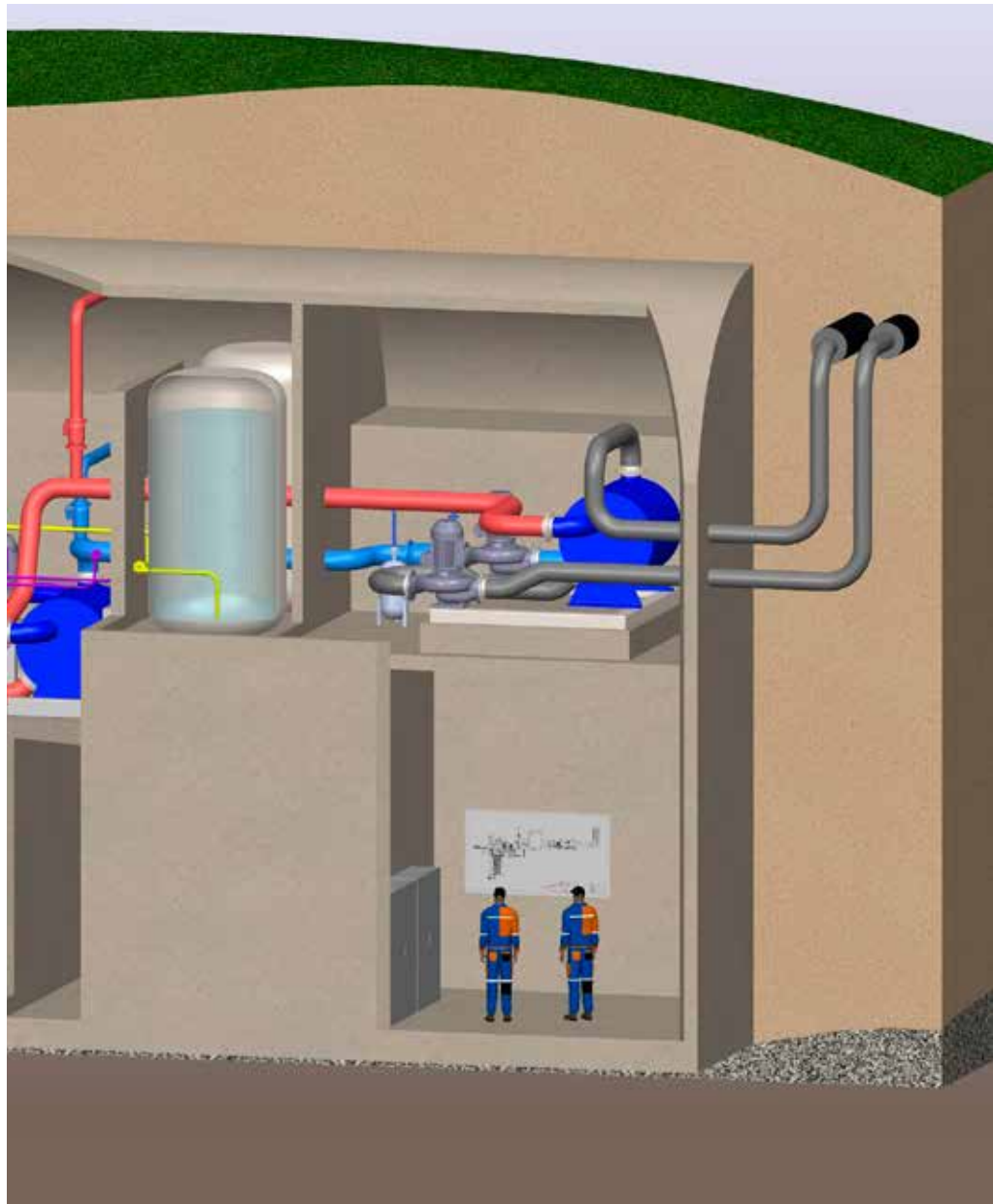
FiR 1 -reaktorin potilashoitotilan purkamisen toimi osana käytöstäpoiston menetelmä- ja ekosysteemi-kehitystä.

### SAFER2028 käynnistyy

Ydinvoimalaitosten turvallisuuden ja ydinjätehuollon julkiset tutkimusohjelmat yhdistyvät vuoden 2023 alusta, mikä edistää kokonaisturvallisuutta.

### Ydinvoimasta kiinnostuneet nuoret kokoontuivat Eurajoelle

ATS Young Generation järjesti perinteisen Summer Symposiumin ja muutaman vuoden tauon jälkeen kokosi yhteen lähes sata ydinenergia-alan nuorta.



## Julkaisija / Publisher

Suomen Atomiteknillinen Seura – Atomtekniska Sällskapet i Finland r.y.  
www.ats-fns.fi

### Johtokunta / Board

#### Puheenjohtaja / President

TkT Markus Airila  
puheenjohtaja@ats-fns.fi

#### Varapuheenjohtaja / Vice President

MSc Ana Jambrina  
ana.jambrina@vtt.fi

#### Sihteeri / Secretary General

FM Jussi Peltonen  
sihteeri@ats-fns.fi

#### Rahastonhoitaja / Treasurer

FM Maria Lindholm  
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

#### Jäsenet / Board Members

SK Tuomo Huttunen  
tuomo.huttunen@fennovoima.fi

DI Olli Nevander  
olli.nevander@rosatom.fi

TkT Antti Snicker  
antti.snicker@aalto.fi

DI Elina Syrjälähti  
elina.syrjalahti@tvo.fi

### Toimihenkilöt / Functionaries

#### ATS Young Generation

DI Pekka Pihlanko  
pekka.pihlanko@platom.fi

#### Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

DI Santeri Myllynen  
santeri.myllynen@fortum.com

#### Women in Nuclear Finland

FT Eveliina Muuri  
eveliina.muuri@gmail.com

#### www.vastaava / Webmaster

DI Juha-Pekka Hyvärinen  
webmaster@ats-fns.fi

#### ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkL Eero Patrakka  
eero.patrakka@kolumbus.fi

### Toimitus / Editors

#### Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

TkT Jarmo Ala-Heikkilä  
jarmo.ala-heikkila@aalto.fi

#### Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

FT Antti Rätty  
antti.ratty@vtt.fi

#### Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

DI Tapani Raunio  
tapani.e.raunio@fortum.com

#### Ulkoasu ja taitto / Layout

Katariina Korhonen  
Creatus  
katariina@creatus.fi

#### Toimitus / Editorial Staff

FM Sophie Haapalehto  
sophie.haapalehto@posiva.fi

DI Klaus Kilpi  
klaus.kilpi@gmail.com

TkT Henri Loukusa  
henri.loukusa@gmail.com

DI Alekski Savolainen  
aleksi.savolainen@tvo.fi

FT Mervi Söderlund  
mervi.soderlund@fortum.com

### Toimituksen yhteystiedot

#### ATS Ydintekniikka

c/o Jarmo Ala-Heikkilä  
PL 15100  
00076 Aalto  
p. 050 433 1198

#### Painopaikka

Hämeen Kirjapaino Oy, Espoo

ISSN-0356-0473

Vuonna 1966 perustetun Suomen Atomiteknillisen Seuran (ATS) tarkoituksena on edistää ydintekniikan alan tuntemusta ja kehitystä Suomessa, toimia yhdyssiteenä jäsentensä kesken kokemusten vaihtamiseksi ja ammattitaidon syventämiseksi sekä vaihtaa tietoja ja kokemuksia kansainvälisellä tasolla. ATS on Tieteellisten seurain valtuuskunnan jäsenseura.

ATS Ydintekniikka on ATS:n julkaisema, neljästi vuodessa ilmestyvä aikakautinen julkaisu. ATS:n tavoitteena on, että ATS Ydintekniikka on johtava teknistieteellinen ammattijulkaisu Suomessa.

ATS ei vastaa julkaistuissa artikkeleissa ja kirjoituksissa olevista tiedoista ja näkökannoista. Toimitus pitää itsellään oikeuden lyhentää, tiivistää ja muokata julkaistavaksi tarkoitettuja artikkeleja ja kirjoituksia.

# Suomalaisen Ydintekniikan Päivät marraskuussa – kaikki mukaan!



**A**TS JÄRJESTÄÄ marraskuun alussa järjestyksessään kolmannen SYP-konferenssin eli Suomalaisen Ydintekniikan Päivät, joista on tullut kolmen vuoden välein järjestettävä seuraperinne. SYP2022 on tarkoitettu sekä seuran jäsenille että muille ydintekniikasta kiinnostuneille. Konferenssi pidetään Paasitorinissa Helsingin Hakaniemessä.

Konferenssissa on luvassa tieteellisiä ja teknisiä esityksiä ydintekniikan laajalta kentältä. Lehden sisäsivuilta löytyy enemmän tietoa SYP2022:n sisällöstä, samoin kuin sponsorien mainoksia, ja tuorein info löytyy verkkosivulta <https://syp.ats-fns.fi>. Mukaan ehtii vielä tuoreimman ydintiedon äärelle, joten eikun ilmoittautumaan! Ilmoittautumisaika jatkuu aina SYP2022:n alkuun saakka, mutta aikaisempi lintu osallistuu halvemmalla.

Energiakriisi on ollut tapetilla viime aikoina ja luultavasti pysyy siellä myös tulevina kuukausina. Euroopan hyvinvointi on perustunut vahvasti Venäjän fossiilienergiaan, ja kun sitä riippuvuutta nyt halutaan supistaa, niin on

alettu puhua energiansäästöä 1970-luvun tapaan. Ja aivan syystäkin, sillä energia-alan kvartaalit ovat vanhan totuuden mukaisesti neljännesvuosisatoja eikä -vuosia, joten uutta tuotantoa on vaikea polkaista käyntiin poliitikkojen kaipaamassa tahdissa.

Meillä on onneksi Olkiluoto 3 käynnistysvaiheessa, mikä tuo helpotusta energiatilanteeseemme. Toisaalta naapurimaan Ringhals 4 kärsii paineistimen rikkoutumisesta ja sen 1,1 GW on näillä näkymin poissa verkosta ensi vuoden alkupuolelle. Samaan aikaan Etelä-Ruotsin sähkölle olisi ottajia Keski-Euroopankin puolella. Saapa nähdä mille tasolle pörssisähkön hinta kipuaa, kun talvi koittaa.

ATS Ydintekniikan 50-vuotisjuhlavuonna 2021 julkaistiin arkiston helmiä lehden neljältä ensimmäiseltä vuosikymmeneltä, yksi helmi per lehti. Viidennen vuosikymmenen helmi jäi julkaisematta, kun lehtiä ilmestyi juhlavuonnakin tasan neljä. Epäkohta korjataan tässä numerossa: toimitus valitsi äänestyksessään Riku Mattilan vuoden 2011 Fukushima-artikkelin 2010-luvun helmiartikkeliksi.

Riku toimi tuossa vaiheessa lehden päätoimittajana, mutta arkiston helmestä voidaan nähdä, että hänen työpäiväänsä mahtui paljon muutakin. Artikkelit on kirjoitettu vain pari-kolme kuukautta onnettomuuden jälkeen ja silti siinä on varsin perusteellinen selvitys onnettomuuden kulusta ja taustoista. Jutun yhteydessä on Rikun tuore kommentti, joka näyttää, että onnettomuudesta ei välttämättä otettu kaikkia oppeja talteen tai sitten ne ovat saattaneet päästä unohtumaan. Silläkin perusteella on hyvä nostaa artikkeli arkistosta helmeiksi.

**Jarmo Ala-Heikkilä**

Vastaava päätoimittaja

## SISÄLTÖ

### Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Suomalaisen Ydintekniikan Päivät marraskuussa – kaikki mukaan! .....	3
Pääkirjoitus: Yhteistyöllä suomalaista ydinenergiaa .....	4
Editorial: Cooperation for Finnish nuclear energy .....	5
Kirja-arvostelu: Markus Ahlskog: Katsaus Suomen varhaiseen atomihistoriaan .....	11
Pakina: Harjoitus tuo olennaisen tärkeää turvallisuusaihepiiriin uusosaamista eri tahoille .....	28

### Arkiston helmi

Fukushiman ydinvoimalaonnettomuus: kun suunnitteluperusteet ylittyvät .....	16
---	----

### Tapahtumat

ATS YG Summer Symposium 2022 .....	6
------------------------------------	---

### Ajankohtaista

Ydinturvallisuusosaamista yli sukupolvien: SAFER2028 .....	8
PIEMOS-selvitys: Uusien ydinenergiateknologioiden mahdollisuudet ja kehitystarpeet .....	12

### Tiede ja tekniikka

Decommissioning of the BNCT irradiation room at FIR 1 research reactor .....	20
<i>Antti Rätty, Fionán O'Carroll</i>	
Diplomityö: Ydinvakiodatan epävarmuuksien propagointia palamalakentään .....	25
<i>Lauri Vaara</i>	

# Yhteistyöllä suomalaista ydinenergiaa

**SUOMALAISEN YDINENERGIAN ALKU** voidaan jäljittää vaikkapa vanhaan Suomen Akatemiaan. Henkilötasolla aloitteita teki kemian Nobel-palkittu Artturi Ilmari Virtanen (tunnettu AIV-rehun kehittäjänä) ja työ johti Erkki Laurilan johtaman energiakomitean syntyyn. Sen yhtenä tehtävänä oli selvittää atomien energian mahdollista käyttöönottoa Suomessa. Komitean eräs toimenpiteistä oli lähettää suomalaisia ulkomaille opiskelemaan atomivoimaa ja myös tutkimuslaitteistojen hankkiminen maahamme aloitettiin.

Kaikki tämä edellytti laajamittaista yhteistyötä, jolla on Suomessa pitkät perinteet, onpa meillä sille oma sanakin, talkoot. Kyläyhteisö sekä ennen että jälkeen isojaon teki talkootyötä ja sotien jälkeen talkoita teki koko kansa. Monet teollisuushistoriamme saavutukset voikin nähdä teollisena talkootyönä, myös voimayhtiöiden Mankala-malli. Ydinenergian alueelle tieteelliseen yhteistyöhön perustettiin Suomen Atomiteknillinen seura vuonna 1966.

Ydinenergian käytössä käytännön työ ydinenergian tuottamiseksi on aina tehty yrityksissä ja tutkimuslaitoksissa ja toimintaa valvovat ja ohjaavat lainsäädännöllä viranomaiset. Pohjoismainen demokratiamme ohjaa myös teollisuutta ja on hienoa, että poliittinen järjestelmämme on hyvin sopinut myös ydinenergian käyttöön. Kaikilla on roolinsa ja vastuunsa, ja kaikki tahot ovat tämän myös ymmärtäneet. Teemme yhteistyötä, mutta esimerkiksi vastuu ydinlaitosten turvallisuudesta on yksiselitteisesti ydinlaitosten luvanhaltijoilla.

Tutkimustoiminta käynnistyi vaikkapa alkukriittisen miilun ja ensimmäisen suomalaisen ydinreaktorin myötä jo 1950-luvulla ja 1960-luvun alussa edellä mainitun energiakomitean ja myöhemmin perustettujen neuvottelukuntien toimesta. Valtio kehitti ydinturvallisuuden tutkimusta ja ohjelmia syntyneen vuosikymmenestä toiseen. Myös neuvottelukuntia kehitettiin ja joitakin niitä on edelleen. Pian käynnistyvä SAFER2028 on jälleen hyvin onnistuneen työryhmän työn tuloksena saanut runkosuunnitelman ja ensimmäinen haku käynnistyi elokuussa.

2000-luvulla TEM on käyttänyt työryhmiä osaamisen kehittämisen työvälineinä. Vuonna 2012 valmistui klassinen osamismisraportti, jossa kartoitettiin osaamisalueittain koko alan henkilöstön koostumus. Koulutustausta, ikä ja osaamisalueet toivat kaikille organisaatioille lisätietoa henkilöstöstä. Vuosina 2017–2018 suoritettiin kerta-laskenta ja tällä hetkellä on käynnissä ydinjätehuollon henkilöstön syvempi kartoitus.

Vuonna 2014 julkaistiin työryhmässä tehty ydinenergian tutkimusstrategia. Sitä on käytetty työvälineenä siitä lähtien ja SAFER2028-ohjelman suunnitteluryhmä aloitti työnsä peilaamalla tutkimusstrategiaa tuleviin kuuteen tutkimusvuoteen 2023–2028. Ydinjätehuollon puolella on työryhmiä ollut useita ja eräs niistä johti pitkällä aikajänteellä toimivaan YETI-työryhmään, joka itse asiassa on minineuvottelukunta. Toistaiseksi viimeinen TEMin vetämistä työryhmiä oli REILA, jonka työllä pohjustettiin sittemmin alkanutta ydinenergiain kokonaisuudistusta.

Kansallisena yhteistyönä on toteutettu myös muiden kuin TEMin johdolla merkittäviä hankkeita. Ensimmäinen ydinturvallisuuskurssi YK1 eli alan täydennyskoulutuksen yhteishanke lähti käyntiin vuoden 2002 periaatepäätöksen jälkeen STUKin ja voimayhtiön aloitteesta. Nyt suunnitellaan ja aloitellaan jo kurssia YJK19, jossa mukana on myös ydinjätehuolto. LUT on ottanut hoteisiinsa tämän hankkeen, mutta kurssi toteutetaan edelleen talkootyönä. Näin siten, että maan parhaat asiantuntijat opettavat ja kaikki organisaatiot lähettävät oppilaat ja Excel sitten laskee talkootyön kustannukset, jotka ovat muodostuneet hyvin kohtuullisiksi kaikille.

Suuren haasteen suomalaisille organisaatioille muodostaa SMR-laitosten mahdolli-



nen tuleminen ydinenergian käytön eturiviin. Eriyksen haasteen muodostaa regulaatio, joka on Suomessa ja maailmallakin kehittynyt käyvien laitosten ympärille ja jo ydinlaitosten uudishankkeet ovat olleet vaativa haaste ydinturvallisuuden valvonnalle, myös pääluvitukseen kohdalla. Myös laitosten sijaintipaikkoihin ja ydinjätehuoltoon liittyy useita vielä auki olevia kysymyksiä.

Kun äskettäin useat ministeriöt halusivat lisää tutkimustietoa mahdollisesta SMR-luvituksesta, käynnistettiin valtioneuvostotason hanke, jolle koottiin laaja ohjausryhmä, jonka työ oli jälleen koko alan yhteistyötä. SMR-kysymykset ovat kuitenkin kaikkea muuta kuin ratkaistuja ja työ jatkuu tiiviinä tulevat vuodet. Tänäpä TEM johtaa ydinenergiain uudistamistyötä, mutta kaikilla organisaatioilla on saroillaan kehittämistä. Ja jälleen on tehtävä laajaa yhteistyötä.

## Jorma Aurela

Yli-insinööri

Työ- ja elinkeinoministeriö

jorma.aurela@gov.fi

# Cooperation for Finnish nuclear energy

**T**HE BEGINNINGS of Finnish nuclear energy can be traced back to the old Academy of Finland. Mentioning two important players, initiatives were taken by Nobel Prize-winning chemist Artturi Ilmari Virtanen (known as the developer of the AIV fodder) and the work led to the Energy Committee chaired by Erkki Laurila. Among its tasks was investigation of the potential of atomic energy in Finland. One of the committee's measures was to send Finns abroad to study nuclear power, and the procurement of research equipment was also started.

All this required large-scale cooperation, which has a long tradition in Finland, and we have our own word for it, "talkoot". Finnish village communities, both before and after the Great Partition in the 18th century, were involved in voluntary work for each member in turn, and after the Second World War the whole nation was involved in voluntary work for the society. Many of the achievements of our industrial history can be seen as industrial teamwork, including the Mankala model of power companies. The Finnish Nuclear Society was founded in 1966 for scientific cooperation in the field of nuclear energy.

In the use of nuclear energy, the practical work of producing nuclear energy has always been done by companies and research institutes, and authorities have controlled and guided these activities by legislation. Our Nordic democracy also guides industry, and it is great that our political system is well suited to the use of nuclear energy. Everyone has a role and a responsibility, and everyone has understood this. We cooperate, but the responsibility for the safety of nuclear installations, for example, lies unequivocally with the nuclear licence holders.

Research activities, such as the subcritical assembly and the first Finnish nuclear reactor, were launched as early as the 1950s and early 1960s by the aforementioned Energy Committee and the advisory committees set up later. The state developed research into nuclear safety and programmes were set up

decade after decade. Advisory committees were also developed and some still exist. SAFER2028, which is about to be launched, has again, as a successful result of a working group, been given a framework plan and the first call for proposals was launched in August.

In the 2000s, the Ministry of Economic Affairs and Employment has used working groups as tools for skills development. In 2012 a classic skills report was completed, mapping the composition of the entire sector's workforce by skills area. Educational background, age and skills areas provided all organisations with additional information on their staff. In 2017–2018, a complementary mapping was carried out, and a more in-depth mapping of the nuclear waste management workforce is currently underway.

In 2014, the Nuclear Energy Research Strategy, prepared by another working group, was published. It has been used as a working tool since then and the SAFER2028 planning group started its work by mirroring the research strategy for the next six research years 2023–2028. On the nuclear waste management side, there have been several working groups, one of which led to the long-term YETI working group, which is in fact a mini-advisory committee. The latest of the working groups led by MEAE was REILA, whose work paved the way for the overall reform of the Nuclear Energy Act that has since begun.

Major projects have been carried out in national cooperation under the leadership of others but MEAE, too. The first nuclear safety course YK1, a joint endeavor for further training in the field, was launched after the 2002 decision-in-principle on the initiative of regulator STUK and the power company. The next successive course YJK19, including nuclear waste management, is currently being planned and launched. LUT University has taken over this project, but the course will continue to be run nationally as a voluntary cooperation. In this model, the best experts in the country will teach and all participating organisations will send students, and Excel

will then calculate the cost of the volunteer work, leading to a very reasonable course fee for everyone.

A major challenge for Finnish organisations is the possible emergence of SMRs at the forefront of nuclear energy use. A particular challenge is the regulatory environment that has developed in Finland and also worldwide around currently operating plants. Already new nuclear projects have been a demanding challenge for nuclear safety regulation, including for overall licensing. There are also a number of unresolved issues related with siting and nuclear waste management.

Recently, when several ministries wanted more research on possible SMR licensing, a government-level project was launched, for which a broad steering group was set up, again with the cooperation of the whole sector. However, SMR issues are far from resolved and intensive work will continue in the coming years. Today, MEAE is leading the work to revise the Nuclear Energy Act, but all organisations have work to do. Again, there is a need for broad cooperation.

## Jorma Aurela

Chief Engineer

Ministry of Economic Affairs and Employment

[jorma.aurela@gov.fi](mailto:jorma.aurela@gov.fi)



*Vuoden 2022 Summer Symposiumin osallistujat ennen ryhmittymistä rasteille.*

# ATS YG Summer Symposium 2022

Muutaman vuoden tauon jälkeen perinteinen Summer Symposium järjestettiin 17.6. TVO:n toimesta. Tapahtuma keräsi YG-ikäiset ydinvoimasta kiinnostuneet nuoret Vuojoen kartanolle Eurajoelle.

**Teksti:** Alekski Savolainen **Kuvat:** Juuso Soikkeli



**DI Alekski Savolainen**

Voimalaitosinsinööri  
TVO Oyj

aleksi.savolainen@tvo.fi

**T**APAHTUMAAN ILMOITTAUTUI 92 osallistujaa ympäri Suomea kattavasti eri ydinvoima-alan organisaatioista. Tapahtuman järjestämistä oli koronan takia siirretty jo useamman vuoden ajan, ja olikin erittäin positiivinen yllätys nähdä näin suuri määrä alasta kiinnostuneita nuoria länsirannikolla. Alan houkutellessa osajia myös Suomen ulkopuolelta tapahtuman virallinen osuus päätettiin järjestää englanninkielisenä vuoden 2019 Symposiumin tapaan.

## **Olkiluoto 3:n vuosi**

Virallisen osuuden luentojen aiheena oli juhla-voittoaan viettävä Olkiluoto 3. Luentojen aiheet

käsittelivät eri vaiheita Olkiluoto 3:n käyttöönottoaiheissa. Esiintyjät olivat sekä TVO:n että Arevan asiantuntijoita.

Tilaisuus potkaistiin käyntiin järjestävän tahon toimesta muutamalla sanalla, minkä jälkeen ATS-YG:n puheenjohtaja Pekka Pihlanko esitteli ATS:n ja ATS-YG:n toimintaa. Varsinaiseen pihviin päästiin käsiksi, kun ensimmäisen luennon esitti TVO:n reaktorivalvonnan pääinsinööri Tommi Lamminpää painoalueena reaktoripuolen käyttöönotto.

Lamminpää aloitti esityksensä esittelemällä käyttöönoton eri vaiheet, joista esitys paneutui erityisesti vaiheisiin C1 ja D1-3 ja näissä tehtäviin reaktorisydämen koestuksiin ja toimintaan. Esitys porautui ajoittain syvälle teknisiin yksityiskohtiin ja avasi kuulijalle tarkemmin eri vaiheiden aikana tehtäviä töitä sekä koestuksia kuvien, kokemusten ja graafien avulla.

Toisesta esityksestä vastasi TVO:n kehitysinsinööri Mika Hassinen, joka jakoi kuulijoille kokemuksiaan yleisesti Olkiluoto 3 -projektista kuin myös spesifimmin käyttöönoton eri vaiheista painoalueenaan laitostason ja turbiinipuolen testit. Esitys käsitti kokemuksia niin projektin alkutaipaleelta periaatepäätöksestä marraskuulta 2000, tarjous- ja rakennusvaiheista kuin viimeisimpien käyttöönottoaiheiden tapahtumista. Hassinen jakoi esityksessä kokemuksia muun muassa koekäyttäjien aikana tapahtuneiden reaktoripikasulkujen syistä ja saaduista opeista, kuin myös vielä tämän

Perinteisen suojava-rusterastin arvostelu-kriteereinä olivat muun muassa suori-tusaika ja oikea jär-jestys.



tekstin kirjoittamisen aikaan suorittamattomista koekäyttöohjelman mukaisista kokeista.

Kolmannen ja virallisen osuuden lopettavan esityksen piti Arvan OL3-käyttöönottoinsinööri Frederic Dehoux. Dehoux esitti edellisiä esityksiä tarkemmin, mitä ydinlaitoksen käyttöönottoon kuuluu ja mikä käyttöönottoinsinöörin rooli tässä kokonaisuudessa on. Esitys kävi kohta kohdalta läpi, miten ydinlaitoksen toimintaan vaikuttava koe valmistellaan, toteutetaan ja viimeistellään. Dehoux läpikävi tarkemmin toteutuksen turbiinipikasulun testaukselle, aina kokeen valmisteluista toteutukseen.

### Aurinkoinen sää ja idyllinen Vuojoen kartano tarjosi puitteet verkostoitumiselle

Virallisen osuuden esitysten jälkeen siirryttiin yhdessä syömään C. L. Engelin suunnitteleman

Vuojoen kartanon päärakennukseen. Ruokailu tapahtui päärakennuksen toisessa kerroksessa, joka restauroitiin vuosina 2004–2005 alkuperäistä huonejärjestystä ja tyyliä vastaavaksi.

Aterian jälkeen oli vuorossa verkostoitumista pihapelien muodossa. Osallistujat jaettiin sopivan kokoisiin ryhmiin, jotka kiersivät ydinhenkisiä rasteja Vuojoen aurinkoisessa maisemassa. Rastiaiheita olivat muun muassa loppusijoitusonkalon varoituskyltin laadinta useamman sadan vuoden päähän sekä perinteinen suojava-rusteiden puenta.

Totuttuun tapaan rastien suoritukset pisteytettiin, ja voittajaryhmälle oli tällä kertaa luvassa mainetta sekä paikallisia erikoisuuksia. Parhaiten pärjänneelle yritykselle oli luvassa Summer Symposiumin kiertopokaali osoitukseksi ansiokkaasta suoriutumisesta niin fyysisissä kuin tietoa vaativissa haasteissa.

Seuraavaksi vuodeksi oikeuden pokaaliin

lunasti Fortum Keilalahti. Voittajien ratkettua ja palkitsemisten jälkeen siirryttiin iltapalalle ja saunomaan, kunnes oli aika hypätä paluubussin kyytiin ja kohti alkavaa kesää.



Fortum Keilalahti lisää nimensä listaan Summer Symposiumin pokaalissa.



Plansor Oy | Y-tunnus 2799750-9 | Kumpulantie 3 | 00520 Helsinki | Puhelin 040 7766 320 | [www.plansor.fi](http://www.plansor.fi)

# Ydinturvallisuus-osaamista yli sukupolvien: SAFER2028

Kansallinen, voimalaitosten valmistajista ja toimittajista riippumaton osaaminen ydinturvallisuuden alueella on ehdoton edellytys ydinenergian käytölle Suomessa. Tämän edistämiseksi on tehty jatkuvasti työtä heti ydinenergiaohjelman käynnistyttyä. Vuonna 2021 eduskunta hyväksyi ydinenergiain muutoksen, jonka myötä aiemmin erilliset ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimusohjelma (SAFIR) ja ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT) voitiin yhdistää ja näin saavuttaa synergiaetuja aiemmin erillisissä ohjelmissa olleiden samankaltaisten aihealueiden tutkimuksessa. Uusi kansallinen ydinvoimalaitosten ja ydinjätehuollon yhteinen turvallisuustutkimusohjelma SAFER2028 jatkaa pitkäjänteistä kansallisen osaamisen kehittämistä.

**Teksti:** Marja-Leena Järvinen, Tomi Routamo

**ENSI VUONNA ALKAVA** SAFER2028 vahvistaa systeemistä lähestymistapaa turvallisuuteen ja kokonaisturvallisuusajattelua yli koko ydinpolttoaineen elinkaaren. SAFER2028 on erityisen tärkeä sen varmistamiseksi, että viranomaisella on jatkuvasti ja välittömästi saatavilla toimittajista ja luvanhaltijoista riippumatonta asiantuntemusta turvallisuuskysymysten ratkaisemiseksi niiden

ilmetessä. Kansainvälisesti vetovoimainen, korkeatasoinen suomalainen turvallisuustutkimus ja tutkimusinfrastruktuuri mahdollistavat tutkimuksen alan kansainvälisten huippuosajien kanssa ja pääsyn viimeisimpään tietoon ajankohtaisista aiheista.

SAFER2028-runkosuunnitelma kuvaa kansallisen ydinvoimalaitosten ja ydinjätehuollon turvallisuustutkimuksen keskeiset aiheet



**Tkt Marja-Leena Järvinen**

Johtava asiantuntija

SAFIR2022-tutkimusohjelman johtoryhmän ja SAFER2028-suunnitteluryhmän pj

Säteilyturvakeskus

marja-leena.jarvinen@stuk.fi



**DI Tomi Routamo**

Apulaisjohtaja

SAFER2028-tutkimusohjelman johtoryhmän pj

Säteilyturvakeskus

tomi.routamo@stuk.fi

seuraavalle kuudelle vuodelle. Suunnitelman laatimisen lähtökohtana on ollut, että ydinenergian käyttö jatkuu Suomessa nykytasosta hieman vahvistuvana.

Tutkimustarpeiden tunnistamiseksi päivitettiin vuonna 2014 julkaistut ydinenergian tutkimuksen strategiaan laaditut skenaariot ydinenergian käytöstä. Tämä oli välttämätöntä, koska suomalainen energijärjestelmä on voimakkaassa muutoksessa pyrittäessä hiili-neutraaliuteen vuoteen 2035 mennessä.

Joustavuutta ja ketteryyttä tutkimuksessa kysytään myös vastaamaan muihin ajankohtaisiin globaaleihin haasteisiin. Covid-19-pandemia on pakottanut työskentelemään paikallisesti ja etätyössä. Riippumattomuus Venäjällä tuotetusta energiasta ja energiaomavaraisuus korostavat entisestään kansallisen osaamisen tarvetta ja sopeutumiskykyä muuttuviin tilanteisiin. Fennovoiman rakentamislupahakemuksen poisvetäminen toukokuussa 2022 edelleen kiristää kilpailua käytettävissä olevasta tutkimusrahoituksesta.

## Osaamista ja osaajia turvallisuustutkimuksella

Käynnissä olevien ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimusohjelman SAFIR2022 ja ydinjätehuollon tutkimusohjelman KYT2022 kansainvälinen arviointi helmikuussa 2022 osoitti tutkimuksen korkean laadun ja vaikuttavat tulokset. Nyt ensimmäistä kertaa arvioitiin myös alkavan ohjelman runkosuunnitelma yhdessä käynnissä olevien ohjelmien kanssa. Korkeatasoisen kansainvälisen asiantuntijaryhmän arviointi antoi hyvää palautetta ensi vuoden alusta alkavan SAFER2028:n runkosuunnittelun viimeistelyyn.

Moni voimayhtiöissä, tutkimusorganisaatioissa ja STUKissa työskentelevä asiantuntija on hankkinut syvällisen ydinturvallisuusosaamisen juuri kansallisessa tutkimusohjelmassa. Useat heistä ovat päätyneet merkittäviin johtotehtäviin kotimaassa ja kansainvälisissä hankkeissa. Kansallinen tutkimusohjelma onkin merkittävä kouluttaja.

Esimerkiksi yksin ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimusohjelmista on valmistunut alalle tähän mennessä 75 tohtoria, 20 lisen-siaattia ja 162 maisterintutkinnon suorittanutta asiantuntijaa. Tutkimuksen tason nousu näkyy myös valmistuneiden tohtoreiden määrän kasvuna viimeisimpien ohjelmajaksojen aikana.

Tutkimusohjelmissa on kehitetty laajalti analyysityökaluja ja menetelmiä ydinvoimalaitosten analysoimiseen sekä turvallisuuskriittisten organisaatioiden toiminnan arviointiin. Ydinjätehuollon tutkimukset ovat tuottaneet



Ydinenergian pitkän aikavälin kehityksessä tunnistetut viisi skenaariota SAFER2028-runko-suunnitelmassa (kuva: <https://safer2028.fi>).

tietoa erityisesti käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuuden arvioinnin tueksi.

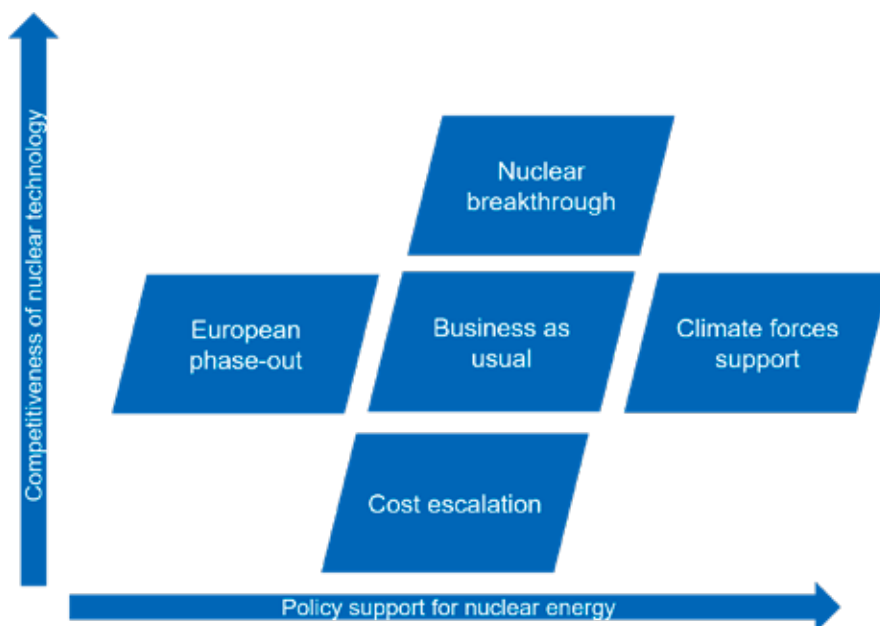
Ilman ajanmukaista tutkimusinfrastruktuuria ei ole mahdollista vastata nopeasti esimerkiksi materiaali- tai prosessitekniisiin turvallisuuskysymyksiin, ja viime vuosina on tutkimusohjelmasta rahoitettu merkittäväällä osuudella VTT:n ydinturvallisuustalon rakentamista ja varustelua, erityisesti sen kuuma-kammioiden kehittämistä, ja LUT-yliopiston termohydrauliikan laboratorion uudistamista. Molemmat laboratoriot toimivat ohjelman kannalta keskeisillä tutkimusalueilla, ja molemmissa on myös meneillään omien hankkeiden lisäksi kansainvälisiä yhteistyöhankkeita.

### Ydinlaitosten turvallisuutta arvioidaan ajantasaisin menetelmin

Kansallisten tutkimusohjelmien ansiosta STUKilla on aina ajantasaiset menetelmät käytettävissään turvallisuusratkaisujen riippumattomiin arviointeihin. Nyt käynnistyvää Olkiluoto 3 laitoksikköä on arvioitu monipuolisesti käyttäen hyväksi tutkimusohjelmissa kehitettyä osaamista. Arvioinnit kattavat käytännössä kaikki tekniset osa-alueet ja organisaation toiminnan, ja niissä on hyödynnetty sekä laskennallisia että kokeellisia menetelmiä. Viime vuosina laajoja arvioiteja on myös tehty käytössä olevien laitossyksiköiden määräaikaisten turvallisuusarviointien yhteydessä.

Jos asiantuntemuksen riippumattomuus kotimaassa on uhattuna tai jos kyseistä osaamista ei löydy Suomesta, voi STUK joutua kääntymään kansainvälisten tutkimusorganisaatioiden puoleen. Kansainvälinen arvio pyydetään kotimaisen lisäksi, jos arvioitava on ainutkertainen tai innovatiivinen ratkaisu. Muun muassa Olkiluoto 3:n vedynhallintaa ja vakavien onnettomuuksien hallintaa selvittivät VTT, LUT ja saksalainen GRS.

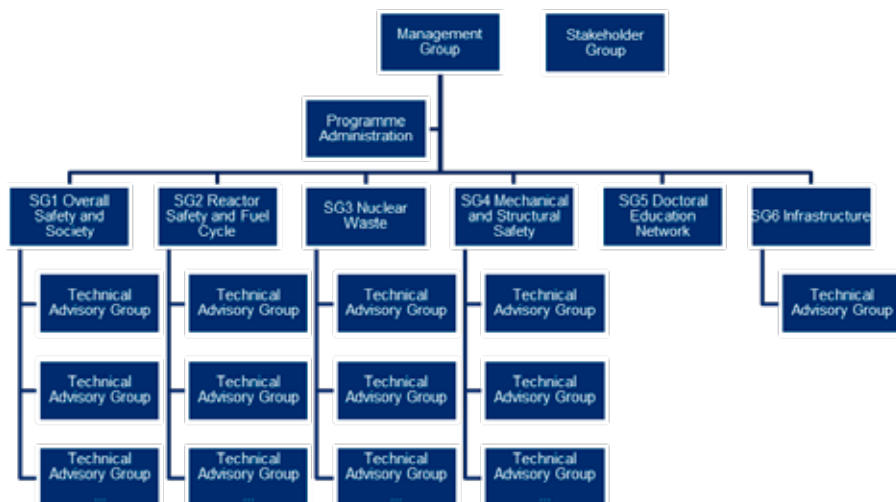
Posivan loppusijoituksen rakentamislupavaiheen arvioinnin yhteydessä kotimainen osaaminen oli käytännössä Posivan käytössä, minkä vuoksi STUK teetti riippumattomat arvioinnit pääosin ulkomaisilla asiantuntijaorganisaatioilla ja asiantuntijoilla. Suomeen soveltuvan seismisen maavastespektrin selvittämiseksi STUK teetti vastikään merkittävän selvitystyön kansainvälisellä asiantuntijaryhmällä.



### Kansainvälisen yhteistyön välttämättömyys

Ilman kansallisia tutkimusohjelmia ei olisi mahdollista osallistua kansainväliseen viranomaisten väliseen yhteistyöhön, jossa kehitetään tietopohjaa turvallisuuden kannalta merkittävien asioiden ratkaisemiseksi. Tämä yhteistyö mahdollistaa laskentaan käytettävien ohjelmistojen validoinnin ja suuren mittakaavan kokeiden tekemisen kansainvälisillä koelaitoksilla.

OECD/NEA:n turvallisuustutkimusprojektit ovat hyvin edustettuina tutkimusohjelmassa. Muita keskeisiä yhteistyötahoja ovat pohjoismainen NKS sekä IAEA ja EU. Tutkimusyhteistyön muodot ja kumppanit vaihtelevat alakohtaisesti. Pääpiirteisään ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimuksessa OECD/NEA on merkittävin yhteistyökumppani, kun taas ydinjätehuollon puolella EU:n Euratomin puiteohjelmat ovat keskeisemmässä asemassa.



SAFER2028-ohjelman hallintorakenne. Jokainen hanke kuuluu yhdelle ohjausryhmälle (SG = Steering Group), vaikka sen aihe voi liittyä useampaan tutkimusalaan (kuva: <https://safer2028.fi>).



Osa SAFER2028-suunnitteluryhmän jäsenistä kokoustaulla (kuva: Jorma Aurela).

### SAFER2028 vahvistaa kokonaisturvallisuuden kehittämistä

SAFER2028-tutkimusohjelma on suunniteltu vahvistamaan ydinturvallisuuden ja ydinjätehuollon tutkimuksen poikkitieteellistä, monialaista osaamista. SAFER2028:n kokonaisrahoitus on yli 10 miljoonaa euroa vuodessa, ja tutkimuksessa on mukana arviolta yli 150 tutkijaa ja opinnäytetyöntekijää lähes kymmenestä kotimaisesta yliopistosta, tutkimuslaitoksesta ja yrityksestä.

Tutkimusohjelma muodostuu neljästä tutkimusalueesta, jotka ovat 1) Kokonaisturvallisuus ja yhteiskunta, 2) Reaktori ja polttoaine, 3) Ydinjätehuolto, loppusijoitus ja käytöstäpoisto ja 4) Ydinvoimalaitosten mekaaninen ja rakenteellinen turvallisuus. Uutena piirteinä ohjelmassa on tohtorikoulutusverkosto, jonka tarkoituksena on edelleen edistää alan tutkijoiden koulutusta ja verkostoitumista sekä ohjelmataason yhteistyötä yliopistojen kanssa. Tutkimusinfrastruktuurin kehittäminen jatkuu




edelleen uudessa ohjelmassa, joskin aikaisempaa pienemmällä rahoituksella.

Validoitujen analyysimenetelmien kehittäminen ydinvoimalaitosten ja ydinjätehuollon laitosten arviointiin on edelleen ohjelman keskiössä. Tärkeänä teemana jatkuu ikääntymisenhallinta ja ikääntymiseen liittyvien ilmiöiden ymmärryksen kasvattaminen. Ydinjätehuollon loppusijoituksen pitkäaikais- ja turvallisuuden arviointi sekä osaamisen ylläpitäminen ja kehittäminen vaativat jatkossa aikaisempaa enemmän huomiota Posivan siirtyessä käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitoksen käyttövaiheeseen.

Ajankohtaiset aiheet kuten pienet modulaariset reaktorit ja uudet teknologiat – tekoäly, uudet valmistusmenetelmät ja virtuaalituodellisuus – ovat mukana tutkimusaiheissa. Riskitietoiset menetelmät sekä riskin käsitys ja hyväksyttävyyden osa kokonaisturvallisuusajattelua, josta tarvitaan enemmän tietoa. Korkean turvallisuuden organisaatioiden toiminnan ja ihmisen toiminnan ymmärtäminen sekä tiedon parempi integrointi päivittäiseen työhön on olennaista kokonaisturvallisuuden huomioimiseksi ydinlaitoksilla.

### Kiinnostuneet loppukäyttäjät ja innostuneet tutkijat

SAFER2028 tarjoaa runsaasti hyviä ajankohtaisia tutkimusaiheita, jotka kiinnostavat loppukäyttäjää ja innostavat tutkijoita. Tämä yhdistelmä yhdessä ajantasaisen tutkimusinfrastruktuurin kanssa luo hyvät edellytykset menestykselliseen tutkimukseen. Vaikka riippumattomuussuhteista uuden ohjelman johtoryhmä koostuukin vain loppukäyttäjistä, vuoropuhelua tutkimusorganisaatioiden kanssa on tarkoitus ylläpitää ja vahvistaa ohjelman kaikilla tasoilla. Uusia keinoja tutkijoiden ja loppukäyttäjien vuorovaikutuksen lisäämiseksi kehitetään uudessa SAFER2028-tutkimusohjelmassa.

Uuden ohjelman tavoite ”Ydinturvallisuusosaamista yli sukupolvien” tiivistää tutkimuksen tarkoituksen ja kuvaa tutkimuksen pitkäjänteisyyttä. Toisiaan seuraavat kansalliset tutkimusohjelmat muodostavat jatkumon ja ovat osoittautuneet hyväksi tavaksi ylläpitää ja kehittää kansallista osaamista sekä varmistaa, että turvallisuuskysymysten esille tullessa on käytettävissä riittävästi osaamista näiden kysymysten ratkaisemiseksi ripeästi ja joustavasti. Ohjelman visio on kunnianhimoinen ja odotettavissa on entistäkin vaikuttavampaa tutkimusta, joka tuottaa myös kansainvälisessä tutkimusyhteistyössä vaihtokelpoista pääomaa. 

Markus Ahlskog:

## Katsaus Suomen varhaiseen atomihistoriaan

**SUOMEN TIEDESEURA** on julkaissut Markus Ahlskogin kirjan suomalaisen atomihistorian varhaisista vaiheista (<https://tiedekirja.fi/fi/katsaus-suomen-varhaiseen-atomihistoriaan>). Kirjan arvostelukappale kolahti toimituksen postilaatikkoon toukokuussa.

Markus Ahlskog on kokeellisen fysiikan professori Jyväskylän yliopistossa. Hänen erikoisalansa on hiilinanoputket, mutta fysiikan historia Suomessa on kiinnostanut niin paljon, että aiheesta syntyi kovakantinen 250-sivuinen kirja. Kirjoittajan omien sanojen mukaan kirja, jonka painotus on nimenomaan ydinfysiikassa, ei ollut alun perin tavoitteena, mutta historia vei mennessään.

Kirjan mukaan nykyisellä ydinteknologialla on kaksi haaraa: ydinen energia ja lääketieteellinen isotooppitekniikka. Energiakomitean perustaminen vuonna 1955 käynnisti ensin mainitun haaran Suomessa, ja energiakomitean perustamisen jälkeinen aika on ollut ydintekniikan aiemman historiatutkimuksen painopisteenä. Nykyisten ydinvoimalaitosten hankintakuviot 1960- ja 1970-luvuilla ovat erityisesti kiinnostaneet historian tutkijoita.

Ahlskog on tässä kirjassa ottanut tehtäväkseen valottaa ydinfysiikan tutkimusta Suomessa ennen energiakomitean perustamista. Komitea ei suinkaan aloittanut työtään nollasta, vaan ydinfysiikkaa oli Suomessa tutkittu jo 1900-luvun alkuvuosikymmenistä alkaen. Suomalaisia pioneereja olivat Helsingin yliopiston fysiikan professorit Jarl Wasastjerna sekä Lennart Simons.

Ahlskogin mukaan nimenomaan professori Lennart Simons, joka toimi vierailevana tutkijana Kööpenhaminassa itsensä Niels Bohrin alaisuudessa 1930-luvun lopussa, aloitti vakavasti otettavan ydinfysiikan tutkimuksen Suomessa. Simons oli alan ykkösnimi 1940- ja 1950-luvuilla ja hänen ansiostaan rakennettiin Suomen ensimmäinen Van de Graaff -tyyppinen hiukkaskiihdytin.

Suomalaisen ydinteknologian varhaisia vaiheita katsotaan kirjassa luonnontieteen näkökulmasta, mutta ne kehystetään aikakauden poliittisilla realiteeteilla. Fyysikot mielellään kuvittelevat tieteenalansa olevan



puhdasta luonnontiedettä kaukana likaisina pidetyistä poliittisista peleistä, mutta tästäkin kirjasta voi päätellä kuvittelun utopiaksi.

Kirjoittaja kutsuu 1950-luvun atomi-innostusta ensimmäiseksi teknologiahyypeksi. Termihän on ilmaantunut yleiseen käyttöön vasta vuosikymmeniä myöhemmin. Tästä kirjasta saa käsityksen, että alusta alkaen Suomen päättävät tahot halusivat saada hypen käytännön toteutuksen sopiviin käsiin, ei välttämättä alun perin pätevimpiin. Professori Simons saatiin pelattua sivuraiteelle, ja syitä voi vain spekuloida, koska kirjallista perustelua ei näytä olevan löydettävissä.

Voin lämpimästi suositella kirjaa ”Katsaus Suomen varhaiseen atomihistoriaan” ydintekniikan alan ihmisille. Se antaa uutta näkökulmaa ja valaistusta nimenomaan suomalaisen ydinosoamisen alkuaskeleisiin. Kirjan teksti on mielenkiintoista ja helppolukuista, joskin suomen lisäksi ruotsin ja englannin taidosta on hyötyä joidenkin suorien lainausten ymmärtämisessä. Kirjassa esitetään joitakin uusia tulkintoja, mutta niille on mielestäni annettu varsin uskottavat perustelut.

Jarmo Ala-Heikkilä

# PIEMOS-selvitys: Uusien ydinenergia- teknologioiden mahdollisuudet ja kehitystarpeet

Pienet modulaariset sarjavalmisteiset ydinreaktorit eli SMR:t (PIEMOS)-selvitys tarkastelee, miten Suomen ydinenergiainsäädännössä huomioidaisiin uusien ydinenergiateknologioiden mahdollisuuksia.

**Teksti:** Juhani Hyvärinen, Juhani Vihavainen **Kuvat:** PIEMOS-tiimi / LUT yliopisto

**P** IENET MODULAARISET SARJATUOTET YDINREAKTORIT (Small Modular Reactors, SMR) ovat sekä turvallisuuden, talouden että käyttökohteiden kannalta lupaava ydinvoimateknologian kehitysuunta. Nykyinen ydinenergiainsäädäntö ja valvontakäytännöt Suomessa perustuvat oletukseen, että ydinvoimaa rakennetaan harvakseltaan ja suurina yksikköinä, joissa on monimutkaisia turvallisuusratkaisuja ja paljon erikoisvalmisteisia osia.

Laadittu selvitys pohjustaa ydinenergian valvonnan lupaprosesseja ja käytäntöjä huomioimaan SMR:ien ominaispiirteet ja käyttömahdollisuudet. SMR:t avaavat Suomelle

uusia mahdollisuuksia sekä energiapolitiikan että teollisuuspolitiikan alueilla.

## Tarkasteltavat reaktorityypit

Pienen modulaarisen reaktorin eli SMR:n käsite on varsin väljä eikä sille ole muuta yleisesti hyväksyttyä määritelmää kuin ”lämpöteholtaan pienempi kuin 1000 MW reaktori”. Käytännössä tätäkin rajaa ylitetään: eräät laitosvalmistajat myyvät SMR-nimikkeellä lähes 1500 MW lämpötehoista reaktoria. Toisessa ääripäässä pienimmät voimalaitoskäyttöön tarkoitettavat reaktorit ovat lämpöteholtaan suuruusluokkaa 20 MW.

Selvitykseen on valittu oheisessa taulukossa luetellut viisi edustavaa pientä modulaarista reaktorityyppiä. Tyypit on valittu kattamaan lähtövalmiudessa kaupallisesti saatavilla olevat vaihtoehdot (NuScale ja BWRX-300, molemmat Yhdysvalloista), keskipitkän aikavälin eurooppalainen vaihtoehto NUWARD™, venäläinen valmiiksi suunniteltu laivareaktori RITM-200 sekä geneerinen kotimainen kaukolämmitysreaktorikonsepti. Valitut tyypit ovat kaikki kevytvesireaktoreita ja kattavat kaikki keskeiset SMR-sovelluskohteet: sähkön tuotannon, sähkön ja lämmön yhteistuotannon, puhtaan lämmöntuotannon ja päästöttömän merenkulun.

”Modulaarisuus” toteutuu näissä reaktoreissa eri tavoin. Yksittäinen NUWARD- ja NuScale-moduuli sisältää itse ydinreaktorin ja sen välittömästi ympärille rakennettavan teräksisen suojarakennusrakenteen. Moduuli tuottaa höyryä, jonka lämpöenergiaa muutetaan sähköksi tavanomaisella voimalaitosprosessilla erillisessä rakennuksessa. Laitostyypistä riippumatta kaikissa laitoskonsepteissa käytetään sarjatuotantona valmistettavia laitteita. Sarjatuotantoa on siis tarpeen tarkastella sekä laitostason että laitetaso kannalta.

PIEMOS-selvityksessä tarkasteltujen reaktorien alkuperämaat ovat kaikki sitoutuneet kansainväliseen ydinturvallisuuskonventioon ja noudattavat näin ollen yhtenäisiä suunnitteluperiaatteita. Käytännön toteutuksissa ja vaatimusten yksityiskohdissa on kuitenkin eroja johtuen teollisuushistoriallisista, lakiteknisistä ja kulttuurisista syistä. PIEMOSin puitteissa ei ollut mahdollista selvittää, onko eri maissa suunniteltujen laitosten turvallisuusteknisillä suorituskyvyillä olennaisia eroja.

Selvityksen tuloksena työryhmä antoi suosituksia seuraavista asioista: sijoituspaikka, kaavoitus, YVA- ja SOVA-prosessit, ydinainekysymykset ja teknologiat.

## Suosituksset: sijoituspaikka

Perinteisesti ydinvoimalaitoksia on tyypillisesti käytetty lähinnä sähköntuotantoon, jolloin niiden sijoittaminen kauas tiheästä asutuksesta on ollut helpoin tapa vähentää mahdollisen poikkeavan tapahtuman aiheuttamia säteilyaltistuksia. SMR:iä on sähköntuotannon lisäksi mahdollista käyttää myös sähkön ja kaukolämmön yhteistuotantoon tai jopa pelkästään lämmöntuotantoon, jolloin laitoksen sijoittaminen lähemmäs asutusta on järkevää ja välttämätöntäkin.

Kun verrataan tarkasteltavien SMR:ien lämpötehoja esimerkiksi lämpöteholtaan 4300 MWth Olkiluoto 3 -reaktoriin, tarkasteltavien reaktorien lämpötehot ovat haarukassa 0,5 % - 20 %. Pienempi lämpöteho merkitsee



**Juhani Hyvärinen**  
Professori  
LUT-yliopisto  
juhani.hyvarinen@lut.fi



**Juhani Vihavainen**  
TkT, laboratorioinsinööri  
LUT-yliopisto  
juhani.vihavainen@lut.fi

vastaavasti pienempää määrää polttoainetta, pienempää kokonaisaktiivisuusinventariaa ja pienempää altistuspotentiaalia.

### Suosituksien kaavoitus

Maankäyttö- ja rakennuslain mukainen kunnan kaavoitusmonopoli takaa kunnalle päätösvallan laitoshankkeen sijoittamisesta alueelleen. Näin ollen ei ole välttämätöntä edellyttää kunnalta erikseen kannanottoa laitoshankekohtaisen periaatepäätöksen yhteydessä.

### Suosituksien YVA- ja SOVA-prosessit

Ydinenergiain mukainen valtioneuvoston periaatepäätös on osa ydinlaitoksen lupaprosessia, josta seuraa myös velvollisuus toteuttaa YVA-menettely hankesuunnittelun kannalta hyvin varhaisessa vaiheessa.

Valtioneuvoston periaatepäätöksen sisältöä olisi mahdollista muuttaa strategisempaan suuntaan, jolloin se määritteli puitteita ydinenergian käytölle Suomessa, mutta ei enää olisi osa yksittäisten hankkeiden lupaprosessia. Tämä mahdollistaisi YVA-menettelyn sijoittamisen lähemmäs rakentamislupakäsittelyä.

### Suosituksien ydinainekysymykset

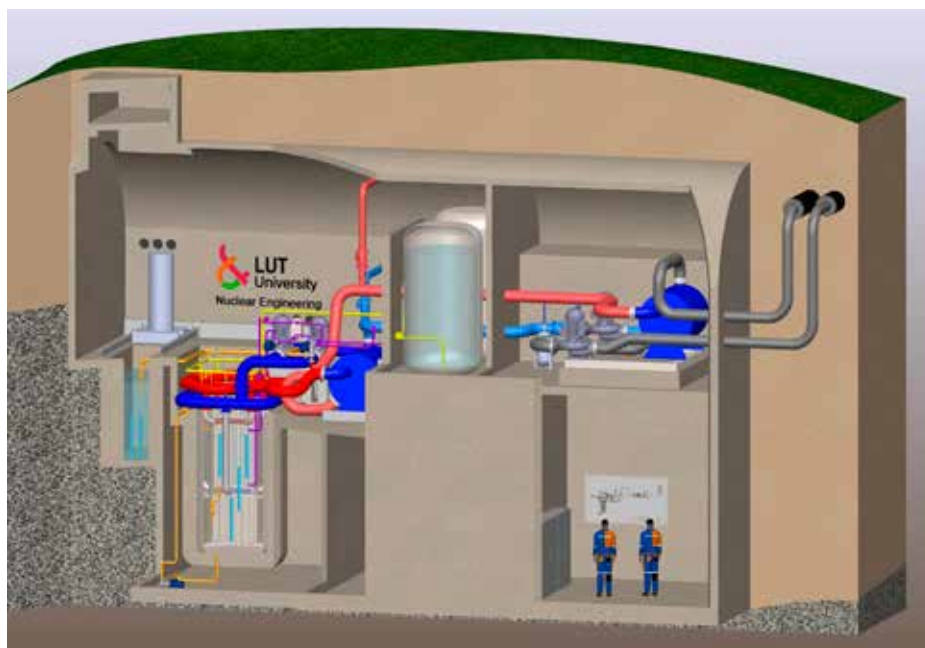
Ydinalan ja säteilyalan jätehuoltoyhteistyö on 2010-luvulla parantunut huomattavasti TEM:n työryhmien ansiosta. Ydinalan jätehuollon yhteistyötä on syytä kehittää edelleen kansallisen ydinjätehuolto-ohjelman edistämiseksi, koska turvallinen ja toimiva jätehuolto on yhteisen menestymisen edellytys.

Vastuu ydinmateriaalivalvonnan toteuttamisesta tulee säilyä laitoksen omistajalla. Omistajan on kuitenkin voitava järjestää laitoksen käyttö, polttoainehankinta ja jätehuolto alihankintoina päteviltä palveluntarjoajilta, kuten nyt jo tehdäänkin käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen osalta.

### Suosituksien teknologiat

Ydinenergiaan liittyviä lupamenettelyjä suunniteltaessa on huomioitava sekä energian tarve että energiahuollon päätöksentekoa koskevat moninaiset tavoitteet ja rajoitteet. Lainsäädännön tulisi mahdollistaa erilaiset liiketoimintamallit ja monipuoliset teknologian sovellukset.

Lainsäädännön tulisi osoittaa STUKille sekä mahdollisuus että velvollisuus antaa erillishyväksyntä joko koko laitospäätöksestä tai hakijan siitä rajaamasta pienemmästä (mutta silti selvärajaisesta) asiakokonaisuudesta, samoin kuin laitospaikan niistä olosuhteista,



Esimerkki maan alle sijoitetusta kaukolämpöä tuottavasta pienreaktorista.

joilla olisi merkitystä ydinturvallisuuden kannalta. Vastuu teknologian hyväksyttävyydestä kokonaisuudessaan tulisi osoittaa laitoksen suunnittelijalle.

Tällaiset hyväksynyt pienentäisivät ydinlaitoshankkeiden projektiriskiä olennaisesti, reaktorin koosta riippumatta. Toimijoille syntyi ennakkoon varmuus, että samalla suunnittelulla voidaan toteuttaa useita eri hankkeita eri omistajille eri paikoissa Suomessa ja/tai että heidän ydinvoimakäyttöön kaavailemansa laitospaikka myös sellaiseksi sopii (tai ei sovi; tämä on tärkeää saada selville ennen varsinaisen laitoshankkeen käynnistämistä).

Alkuperämaassaan jo hyväksytyt laitoksen suunnittelijan käyttämiin suunnittelu-, mitoi-

tus-, materiaali- tai valmistusstandardeihin ei ole tarkoituksenmukaista puuttua, vaan tarvittaessa tulee tarkistaa suunnittelijan käyttämällä standardeilla saavutettu suorituskyky.

Kotimainen viranomaissäännöstö pitäisi muotoilla niin, että laitevalmistuksen ja rakentamisen kansainvälisesti laajasti käytettyjen standardien mukaan toimiminen riittää. Laitetason vaatimustenmukaisuuden toteuttamista voisi lähestyä TUKESin toimintamallien kautta ja kohdistaa toiminta valmistajan suunnittelu- ja tuotantoprosessin sekä tarkastusta suorittavien tarkastuslaitosten valvontaan. Samalla voidaan tehokkaammin hyödyntää Graded Approach -periaatetta painottamalla valvontaa korkean riskin osiin tuotannossa.

Esimerkkejä SMR-reaktoreista. Lyhenteet: BWR = kiehuvesireaktori, iPWR = painevesireaktori, jossa koko primääripiiri on paineastian sisällä ("integroitu"), DHR = kaukolämpöreaktori.

	Tyyppi	Kotimaa	Rakennustapa	Lämpöteho MW	Palama MWD/kgU
<b>BWRX-300</b>	BWR	USA, Japani	Osin maan alla	870	50
<b>NUWARD</b>	iPWR	Ranska	Maan alla	540	60
<b>NuScale</b>	iPWR	USA	Osin maan alla	200	30
<b>RITM200</b>	iPWR	Venäjä	Kelluva	165	51
<b>Suomi-Reaktori</b>	DHR	Suomi	Osin tai kokonaan maan alla	20–50 MWth	30


### Johtopäätökset

SMR-laitokset perustuvat modulaarisuuteen, sarjatuotannon hyödyntämiseen ja laitosten täydentämiseen moduulien kautta. Valmiiksi suunnitellun ja kotimaassaan asianmukaisesti turvalliseksi todetun teknologian käyttäminen ilman Suomi-spesifisiä muokkauksia tulisi olla mahdollista. SMR-laitosten käyttötapa voi myös poiketa nykyisten isojen laitosten käytöstä suurestikin; käyttö voi myös perustua etäohjaukseen tai useita laitoksia voitaisiin käyttää samojen käyttö- ja huoltohenkilöstöjen kautta. Laitosten omistajana ja käyttäjänä saattaisivat olla eri tahot.

Säädösten arvioinnissa tulisi siis arvioida myös mahdolliset uudenlaiset liiketoimintamallit. Kokonaisuudessaan tavoitteena olisi olta-va tarkoituksenmukaiset lupaprosessit, joissa ydinturvallisuuden, säteilyturvallisuuden ja turvajärjestelyjen valvonta toteutuisi riittävästi. Lisäksi on huolehdittava ydinmateriaalivalvonnan tarpeista.

Selvityksen perusteella voidaan todeta, että nykyisen ydinenergiain lupaprosessi tarvitsee ajanmukaistamista. Tarkastelut osoittavat, että pieniä modulaarisia reaktoreita varten ei ole tarpeen laatia erillistä prosessia tai uusia sääntöjä; sen sijaan olemassa olevia prosesseja olisi täydennettävä ja käy-

täntöjä päivitettävä. Turvallisuuden osavastuut tulisi osoittaa tahoille, joilla on parhaat edellytykset ne kantaa.

Johtopäätös on, että ydinenergiain tarvitetaan erillisten hyväksymisten mahdollisuus sekä laitekniikalle että laitospaikal- le, sarjatuotannon etujen varmistamiseksi. Periaatepäätöksen sisältöä ja luonnetta on myös mahdollista täsmentää nykyistä strategisempaan suuntaan. Turvallisuuden ja suo- jaetäisyyden arviointi tulisi perustua osoitettuihin suorituskyykyihin; turvallisuus muodostuu viime kädessä rakenteiden, laitteiden ja järjes- telmien teknisestä suorituskyyvystä, ei muodol- lisista norminmukaisuuksista. 

- 1 PIEMOS-selvityksen laatineen tutkimusryhmän kokoonpano on seuraava: LUT-yliopiston Ydinvoimatekniikan tutkimusryhmän tutkijatohtori Elina Hujala, professori Juhani Hyvärinen, tutkijatohtori Heikki Suikkanen, laboratorioinsinööri, TKT Juhani Vihavainen sekä LUTin ulkopuolisina asiantuntijoina TKT Rauno Rintamaa ja HTM Susanna Wähä.
- 2 PIEMOS-julkaisun pysyvä osoite on: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-189-6>



# Suomalaisen Ydintekniikan Päivät – SYP2022

SYP2022-konferenssi järjestetään Helsingissä, kongressikeskus Paasitornissa, 1.–2.11.2022. Kansainvälinen konferenssi kokoaa yhteen ydintekniikan alan teollisuuden, tieteen, tutkimuksen ja viranomaisnäkökulman. Ohjelma rakentuu tieteellisistä ja yleistajuisemmista teknisistä esityksistä. Konferenssi korvaa tänä vuonna perinteisen syysseminaarin.

Tapahtuman yhteydessä järjestetään SYP2022 Exhibition.

## Alan johtavat Key Note -puhujat

Konferenssin ohjelmapuheet ottavat kantaa päivänpolttaviin kysymyksiin, joiden keskiössä ydinenergiakin on: voimayhtiöiden kuulumiset, turbulenssi sähkömarkkinoilla, modulaariset reaktorit ja lämmöntuotannon dekarbonisointi, käytetyn polttoaineen loppusijoituksen valmistelut, ja kuulumisia maailmalta.

Teollisuus, yliopistot ja tutkimusyksiköt ovat mukana tieteellisen osuuden esityksissä. Saamme kuulla alan viimeisimpiä tutkimustuloksia.

## Ilmoittaudu nyt!

Varmista paikkasi alan eturivistä nyt: [syp.ats-fns.fi](http://syp.ats-fns.fi)

### Hintaan sisältyy

- Konferenssin sisäänpääsy, lounaat ja kahvit molempina päivinä
- SYP2022 Exhibition
- Konferenssi-illallinen tiistaina 1.11. Paasiravintolassa



**Riku Huttunen**  
Ministry of  
Economic Affairs  
and Employment



**Tiina Jalonen**  
Posiva Oy



**Stefano Monti**  
International Atomic  
Energy Agency



**Marc Tannenbaum**  
Electric Power  
Research Institute



**Staffan Qvist**  
Qvist Consulting  
Limited



**Jarmo Tanhua**  
Teollisuuden Voima  
Oyj



**Simon-Erik Ollus**  
Fortum Oyj



**Jussi Jyrinsalo**  
Fingrid Oyj



**Juhani Hyvärinen**  
LUT University





jäksi jääneen kuutosyksikön ilmajäähdytteen dieselgeneraattorin varassa niin, että polttoainevaurioilta vältyttiin.

### Laitoksen tilanne sata päivää maanjäristyksen jälkeen

Päästöt – tosin merkittävästi alkuvaihetta pienempinä - jatkuvat tätä kirjoitettaessa edelleen ilmaan ja veteen. Kokonaisilmapäästöjen perusteella tapahtuma on luokiteltu INES-asteikon vakavimpaan eli seitsemänteen luokkaan, mutta tarkkaa päästöarviota joudutaan vielä odottamaan. Tämänhetkiset arviot liikkuvat jodin ja cesiumin osalta n. 10–20%:ssa Tshernobylin onnettomuuden päästöistä; muista nuklideista ei kunnollisia arvioita vielä ole.

Ensimmäisenä keinona tilanteen stabiloimiseksi laitospaikalle on ranskalais-amerikkalais-japanilaisin voimin rakennettu puhdistusjärjestelmä, jolla reaktorin jäähdytykseen käytetty ja reaktoripaineastiasta sekä suojarakennuksesta ulos vuotanut vesi saadaan puhdistettua ja kierrätettyä uudelleen vaurioituneiden reaktorisydänten jäähdyttämiseen niin, että saastuneen veden kertyminen laitospaikalle saadaan pysäytettyä. Tämä järjestelmä on saatu käyttöön kesä-heinäkuun vaihteessa, ja ensimmäisten käyttökokemusten perusteella se näyttää poistavan radioaktiivisia aineita suunnitellusti. Toinen käynnissä oleva hanke on kevlar-materiaalista tehtyjen pressuhallien pystyttäminen estämään radioaktiivisten hiuk-

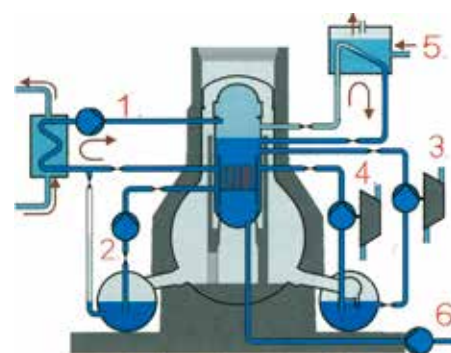
kasten pääsy laitoksilta tuulen ja sadeveden mukana ulos. Näiden tukirakenteiden pystytys aloitettiin heinäkuun ensimmäisellä viikolla.

Polttoainealtaiden tilaa on toistaiseksi ylläpidetty syöttämällä niihin vettä joko laitoksen omia järjestelmiä tai betoninpumppausajoneuvoja käyttäen. Polttoainealtaissa olevan polttoaineen poistamisesta ei toistaiseksi ole julkisesti esitetty suunnitelmia tai aikatauluja.

### Erilaisuus- ja moninkertaisuusperiaate vanhemmissa ja uudemmissa laitoksissa

Fukushima Dai-ichin ydinvoimalaitoksen yksiköt edustavat vanhaa ydinvoimalaitossuunnittelua ajalta, jolloin laitosten suunnitteluperusteet ja esim. vikasietoisuusvaatimukset eivät vielä olleet vakiintuneet. Huonona puolena tästä on epätasaisuus eri uhkien ja niitä vastaan suunniteltujen turvallisuusjärjestelmien mitoituksessa, mutta toisaalta vahvana puolella useiden diverssien järjestelmien olemassaolo.

Hieman karrikoiden voisi sanoa, että koska suunnittelijat eivät vielä olleet tehneet lopullista valintaa eri järjestelmien paremmuuden välillä, niitä oli ”testausmielessä” rakennettu useita erilaisia: ykkösyksiköllä lämpöä saatiin siirrettyä reaktorista ulos eristyslauhduttimen kautta, ja mikäli eristyslauhduttimeen olisi saatu palovettä ja akkusähköä ja venttiilit pidettyä auki, sydänvaurio olisi vältetty täyd-

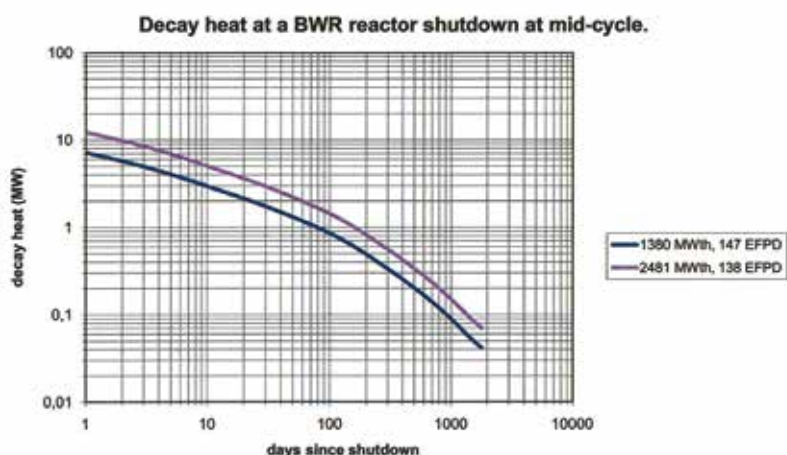


Kuva 3. Fukushiman laitossyksiköiden jälkilämmönpoistojärjestelmät: 1. Sammutetun reaktorin jäähdytysjärjestelmä, 2. Sydämen matalapaineinen hätäruiskutus, 3. Korkeapaineinen apusyöttövesi, 4. Eristysjäähdytysjärjestelmä (RCICS, 2. -6. yksiköt), 5. Eristyslauhdutin (1. yksikkö), 6. Boorausjärjestelmä (kuva: Dr. Matthias Braun).

listä vaihtosähkön menetyksestä huolimatta. Vastaavasti kakkos- ja kolmosyksiköillä oli höyryturpiinikäyttöiset apusyöttövesipumput, joilla saatiin ostettua useita tunteja lisäaikaa sydämen jäähdyttämiseen ja jälkilämmön pienentämiseen, kunnes lauhdutusaltaan lämpeneminen ja akkusähköjen ehtyminen vei nämäkin järjestelmät käyttökunnottomiksi.

Tätä kirjoitettaessa ei ole selvillä, miksi lauhdutusaltaaseen ei onnettomuuden alkuvaiheessa syötetty lisävetä, jolla sen kykyä ottaa vastaan primääripiirin jälkilämpöä olisi voitu pidentää ja höyryturpiinipumppujen käyttökuntoisuutta mahdollisesti ylläpitää pidempään. Periaatteellinen mahdollisuus suojarakennuksen vesitäyttöön olisi joka tapauksessa ollut olemassa.

Vastaavaa käyttövoimadiversiteettiä on myös ASEA-Atomin vanhimmilla laitoksilla (eristyslauhdutin Oskarshamn 1:ssä, höyryturpiinipumppu Ringhals 1:ssä), mutta uudemmissa ruotsalaisissa BWR-laitoksissa, mukaan lukien Olkiluoto 1/2, diversiteettiä on vähennetty samalla kun järjestelmien vikasietoisuutta on parannettu moninkertaisuutta ja erottelua lisäämällä. Riippuvuus sähkön saannista on uudemmilla laitoksilla suurempi kuin vanhimmilla, ennen suunnittelukriteerien systematisoitumista suunnitelluilla laitoksilla, mutta toisaalta täydellisen sähkön menetyk-



Kuva 2. Suuntaa antava arvio jälkilämmön määrästä ydinreaktorin sammuttamisen jälkeen. Yksi megawatti riittää kiehattamaan noin puoli kiloa vettä sekunnissa.

Oheinen artikkeli on julkaistu ATS Ydintekniikan numerossa 2/2011. Kirjoittaja toimi VTT:llä tutkijana ja sen jälkeen STUKissa ylitarkastajana reaktorifysiikan alalla. Hän oli ATS Ydintekniikan päätoimittajana 2008–2011. Artikkelin lopussa on kirjoittajan tuoreet kommentit.



Kuva 4. Fukushima Dai-ichin ykkösyksikön säätösuojan tukirakenteita koeasennettuna Onahaman satamassa 24.6.2011 (kuva: Tepco).

sen todennäköisyys on pyritty varavoimajärjestelmien sijoittelulla ja osittaisella diversifioinnilla saamaan mahdollisimman pieneksi.

Osassa kaikkein uusimpia ydinvoimalaitoksia on jälleen tarjolla passiivisia, sähköstä riippumattomia järjestelmiä – kuten eristys-lauhdutin – joilla laitosten sydänvaurioriskiä täydellisen sähkömenetyksen tapauksessa voidaan pienentää. Painevesilaitoksissa sähkömenetystilanteissa on yleensä enemmän aikaa toimia johtuen höyrystimien suuremasta vesimäärästä, ja mikäli primääripiiri (mukaanlukien pääkiertopumppujen tiivisteet) pysyy tiiviinä, jälkilämpö voidaan poistaa yksinkertaisesti puhaltamalla höyryä sekundääripuolelta taivaalle ja syöttämällä uutta vettä höyrystimiin. Se, kuinka hyvin veden syöttömahdollisuudet höyrystimiin on diversifioitu,

riippuu laitostyyppistä, ja tässäkin tapauksessa uudet laitokset saattavat olla diversifiointimielessä heikompia kuin vanhat laitokset – etenkin, jos vanhoja on aikojen kuluessa näiltä osin paranneltu.

### Varautuminen suunnitteluperusteet ylittäviin tapahtumiin

Fukushiman ydinvoimalaitoksen järjestelmien oli osoitettu täyttävän kaikki turvallisuusvaatimukset realistisina pidettyjen ulkoisten uhkien varalta. Onnettomuus johtui siitä, että rantaan iskeneen höyryaalton korkeus ylitti selvästi suunnitteluperusteeksi otetun arvon (5,7 metriä). Tällaisesta, tietyn rajan jälkeen tapahtuvasta merkittävästä tilanteen vaka-voitumisesta käytetään nimitystä “cliff edge” -ilmiö. Suhtautuminen ilmiöön vaihtelee: joissakin maissa raja laitokselta vaadittavan turvallisuustason ja vaatimusten ulkopuolelle jätettävien ilmiöiden välillä on tiukka ja tarkasti määritetty.

Suomessa noudatettavan ajattelun mukaan suunnitteluperusteiden systemaattinen täyttäminen ei riitä, vaan myös suunnitteluperusteiden ulkopuolisia ilmiöitä on tutkittava, jotta mahdolliset “cliff edge” -ilmiöt tulevat mahdollisimman hyvin havaituiksi ja niitä vastaan voidaan varautua. Tämän lähestymistavan hankaluus tiukkaan suunnitteluperustekriteeristöön verrattuna on tietynlainen epämääräisyys, joka on ongelma erityisesti maissa, joissa on paljon keskenään kilpailevia ydinvoimaoperaattoreita tai ydinenergian käyttö on voimakkaasti politisoitunutta.

Tällaisessa tilanteessa voimayhtiöillä ei välttämättä ole halua heikentää taloudellista kilpailukykyään tekemällä laitosmuutoksia, joihin ei ole ehdotonta, lakipykäläistä johdettavissa olevaa ja juridisesti yksiselitteistä velvoitetta. Myös viranomaisen voi olla vaikea varmistautua siitä, että kaikkia luvanhaltijoita kohdellaan tasapuolisesti, mikäli riittävän ja riittämättömän turvallisuustason välinen rajankäynti edellyttää selvien sääntöjen lisäksi ilmiöiden ja kriteerien syvälle menevää tapauskohtaista arviointia.

### Mitä onnettomuuden perusteella pitäisi tehdä?

Jatkuvan parantamisen periaatteen voi Fukushiman onnettomuuden valossa toivoa saavan nykyistä vahvemman jalansijan kaikissa maissa, joissa ydinvoimaa käytetään.

Vaikka monessa tämän tapahtuman esiin nostamassa ongelmassa voidaan todeta asioiden Suomessa olevan kohtalaisen hyvällä tolalla, turhaan itsetyytyväisyyteen ei kenelläkään ydinturvallisuuden kanssa työskentelevällä ole täälläkään varaa tuudittautua. Onnettomuuden jälkeen Työ- ja elinkeinoministeriö pyysi Säteilyturvakeskukselta selvitystä siitä, millaiset valmiudet Suomen käytössä, rakenteilla tai suunnitteluvaiheessa olevilla ydinvoimalaitoksilla on selvittä nykyiset suunnitteluperusteet ylittävistä ulkoisista uhkista. Selvityksen perusteella tarvetta akuutteihin korjauksiin Suomen laitoksilla ei ole, mutta joitakin pidemmän aikavälin parannustoimia on syytä tehdä koskien esim. Oikiluoto 1/2 -laitosyksiköiden reaktorien jäähdytettävyyttä täydellisessä vaihtosähkön menetyksessä ja Loviisan laitoksen tulvasuojausta.

Tietoa mahdollisista ydinturvallisuuden parantamiskohteista tulee maailmassa mm. IAEA:n ja WANOn kautta vuosittain noin tuhannen raportoidun tapahtuman tai havainnon muodossa, ja mikäli tätä suurta kokemusmassaa osataan ja maltetaan analysoida riittävällä huolella ja tehdä tarvittavat turvallisuusparannukset heti kun tarvetta todetaan olevan, yksittäisestä seurauksiltaan vakavasta onnettomuudesta ei periaatteessa pitäisi aiheutua sen suurempaa muutostarvetta kuin jostain pienemmästä tapahtumasta, joka nostaa samat heikkoudet esiin.

Kun Fukushiman ydinvoimalaitos nyt nostaa tapetille suunnitteluperusteet ylittävän ulkoisen



Kuva 5. Fukushima Dai-ichin nelösyksikön polttoaineallas on viimeisenä ilman jäähdytyskiertoa räjähdysvaurioitettua putkistoa (kuva: Tepco 29.6.2011).

## Kirjoittajan kommentti 11 vuotta myöhemmin

**SENDAIN MAANJÄRISTYS** tapahtui perjantaina virka-ajan lähetessä loppuaan. Kahviautomaatilla viikon viimeistä virastodopingannosta jonottaessa kuulin, kun kollega Jorma Sandberg puhui asiasta mainiten samalla tsunamirisikin Sendain rannikon ydinvoimaloissa. Mietitytti sen verran, että päätin varmuuden vuoksi jäädä arkistoon kokoamaan tietopakettia alueen ydinvoimaloista. Aavistus osui oikeaan ja STUK oli heti tilanteen tasalla.

Helmikuuksi 2012 Euroopan ydinturvallisuusviranomaiset kokoontuivat Luxemburgiin tekemään ns. stressitestejä, joissa pyrittiin Fukushimaa jälkimainingeissa selvittämään, miten laitosten resilienssiä vastaavissa suunnitteluperusteet ylittävissä tilanteissa voisi parantaa. Itse osallistuin

urakkaan laitos- ja järjestelmäsuunnittelun osalta. Testeissä keskityttiin vaihtosähkömenetystilanteen analysointiin niin, että jossain vaiheessa sarkastisesti totesin tsunamin onneksi osuneen juuri Fukushima Dai-ichiin, joka stressitestien perusteella vaikuttaa olevan maailman paras laitos selviämään kyseisestä tilanteesta ilman vaurioita.

Oma käsitykseni Fukushimaa onnettomuuden juurisyystä poikkeaa ainakin tuolloisesta kaanonista. Heti ensimmäisenä onnettomuuspäivänä ihmettelin ääneen, miksi ykkösyksikön eristyslauhduin ei estänyt sydänvauriota. Sama kummastelu jatkuu tässä pari kuukautta onnettomuuden jälkeen kirjoitetussa artikkelissa. Vasta syksyllä oivalsin, että kyse oli automaatiojärjestelmän

toiminnasta: 24 V tasasähköt menetettyään se alkoi toimia kuin HAL 9000 estäen kaikki sydämen jäähdytysyritykset. Asia tuli uutena muille Luxemburgissa ja pelkään, ettei sen merkitystä ole vielääkään tajuttu.

Itse jouduin harmikseni kuvioista sivuun ennen aikaisesti vähän ennen tsunamia puhjenneen ALSin johdettua nopeassa tahdissa halvautumiseen ja puhekyvyttömyyteen. Sairaus sinänsä on hallittavissa ydinturvallisuuden opein, mutta paljon opittua jää sen takia nyt hyödyntämättä. Esimerkiksi helmikuussa 2012 Luxemburgissa läpikäytyt Zaporizžjan ydinvoimalan sähkönmenetysjärjestelyt ovat nyt surullisen ajankohtaisia.

*Riku Mattila, Espoossa 11.9.2022*

uhan seuraukset ja turvallisuusjärjestelmien sähköriippuvuuden, ydinlaitosten tekniikan lisäksi on syytä tehdä kriittinen arvio myös ydinturvallisuudesta vastaavien ja sitä valvovien organisaatioiden toiminnasta: mikäli onnettomuuden seurauksena nähdään tarpeelliseksi tehdä muutoksia laitosten turvallisuusjärjestelmiin, olisivatko samat muutostarpeet olleet johdettavissa jo aiemmin tiedossa olleesta käytökemustiedosta? Ja jos olisivat, miksi muutokset ovat jääneet tekemättä, ja onko ydinturvallisuusorganisaatioiden toiminnassa näiltä osin tarvetta parannuksiin?

### DI Riku Mattila

ylitarkastaja

Reaktori- ja turvallisuusjärjestelmät

Ydinvoimalaitosten valvonta

STUK

*Kuva 6. Laitospaikan akustojen tyhjennettyä sähköä instrumenteille syötettiin tilapäisjärjestelyin (kuva: Tepco 20.3.2011).*



# NNi

Nordic Nuclear Insurers

Pohjoismainen Ydinvarakuutuspooli

▶ [atompool.org/fi](http://atompool.org/fi)

# Decommissioning of the BNCT irradiation room at FiR 1 research reactor

Antti Rätty<sup>1</sup>, Fionán O'Carroll<sup>2</sup>

<sup>1</sup>VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, <sup>2</sup> Sweco Structures Ltd

The BNCT irradiation room was built at the FiR 1 research reactor site in the mid 1990's. The room was dismantled in the summer of 2022 as part of preparatory works for the actual reactor dismantling. Virtual decommissioning 3D planning was tested in the dismantling project using 3D and 4D technology. The BNCT project served as a test case for decommissioning company ecosystem development and the development of digitalization techniques and knowledge for nuclear decommissioning projects.

FiR 1 -tutkimusreaktorin yhteyteen 1990-luvulla rakennettu BNCT-säteilytyshuone purettiin kesällä 2022 osana tutkimusreaktorin purkua valmistelevia töitä. Huoneen purkutyössä testattiin myös virtuaalista 4D-suunnittelua. Projekti toimi testialustana yritysten väliseen käytöstäpoiston ekosysteemikehitykseen sekä digitaalisiin ja tiedonhallinnan tekniikoihin.

## Introduction

The FiR 1 research reactor was in operation in Otaniemi for years 1962-2015. Spent nuclear fuel was removed in 2020 and activated structures will be dismantled in 2023. In the mid 1990's the so called "thermal column" was removed from the FiR 1 reactor and an epithermal boron neutron capture therapy station [1] was built in its place for experimental cancer treatments (Figure 1).

FiR 1 reactor dismantling in 2023 will require access around the entire bioshield and additional floor space for working within the reactor hall. Thus the irradiation room had to be dismantled beforehand. Some elements from the BNCT structure will also be reused as shielding components for active decommissioned waste.

As the spent nuclear fuel was already removed and some of the activity in the core structures had decayed, dismantling the irradiation room had only a negligible effect on dose rates inside the reactor hall.

## Digital planning of dismantling

The decommissioning strategy was based on using a digital platform created by Sweco to virtually plan the safe dismantling of the facility and to manage the flow of data throughout the project [2]. The main benefits of this approach were project visualisation, data management and processing, better communication between stakeholders, off-site/remote project management (particularly useful during Covid-19 period), improved planning and operational capability, enhanced logistics planning and ultimately safer decommissioning.

To create the digital platform, the facility required a detailed 3D model as a starting point. This involved laser scanning the premises

to produce a point cloud and review of design specifications to produce the model. The 3D model is then used as the basis for virtually planning and simulating the optimal dismantling operations (i.e., the 4D model or 3D geometry with time dimension included) from known quantities and parameters, including labour efficiencies, crane limitations, contamination measurement equipment, site protocols and processes, available tools and site space restrictions.

The first step in the digitalisation process is the production of an accurate object-oriented 3D model. This was achieved through use of a laser scanner that produced a complete point cloud and 360° photos from each of the scanning positions in the facility. This method is distinct from more commonly used generic mesh models or photogrammetry-based models that would not achieve the required level of accuracy or useability for subsequent digitalisation needs of the project.

## 3D and 4D modelling

Development of the 3D model was primarily supported by the point clouds and 360° photos produced from the laser scanning. Old design drawings and specifications, extracts from reports, site photos from the construction works and description from staff were also important in the model creation. The combination of all these data inputs enabled a 3D model of the facility to be produced at a specified level of detail (LOD), which ensured the main parts of interest were captured.

The modelling software development at Sweco also allowed the estimation of component masses; an important parameter, given that the lifting capacity of the existing traverse crane in the reactor hall was



Figure 1. A shielded irradiation room was built around the BNCT neutron beam using heavy concrete filled steel bars (photo from construction phase: VTT, 3D virtual model: Sweco).

limited to 5 metric tonnes. Heavier components of the BNCT structure, like the lead door and heavy concrete door operating on a track system, had been removed before using alternative methods. The BNCT structure was approximately 190 metric tonnes in total.

The virtual decommissioning is handled in the 4D software to produce a traditional project schedule (Gantt chart) for dismantling operations. Using the developed 3D model, the project schedule can be visualised and virtually simulated to clearly indicate essential process steps (Figure 2). Object based scheduling enables planning of component removal sequences, clash detection, planning object pathways, logistical planning for equipment and tools, outside space reservations and identification of main processing steps.

According to the prevailing security conditions related to the nuclear facility, the 3D model used in the 4D software can be stripped down to include only specific elements of that structure or facility. This allows the 4D model information to be distributed to a wider group of stakeholders.

### Activity measurements

The inner walls of the irradiation room had been covered using lithium enriched plastic plates that served as a neutron absorbing material. Consequently, it was estimated that there would be only very little activation in the heavy concrete bars. Figure 3 shows a calculated estimate of the neutron absorption in the wall structures. [3]

The activation in the irradiation room wall shielding plastic plates was studied earlier by collecting various samples from the different locations inside the room. The samples contained some tritium due to the neutron absorption reaction  $\text{Li-6}(n,\alpha)\text{H-3}$ . The activities were measured using a pyrolyzer and liquid scintillation counting [4]. The total activity was below 1 GBq, so they could be sent for re-use in the new Meilahti BNCT station using the case specific clearance procedure [5].

Typically, nuclear decommissioning waste is packed into barrels or other suitable packages and measured in easy package-wise geometries using a gamma spectrometer. Since some of the heavy concrete

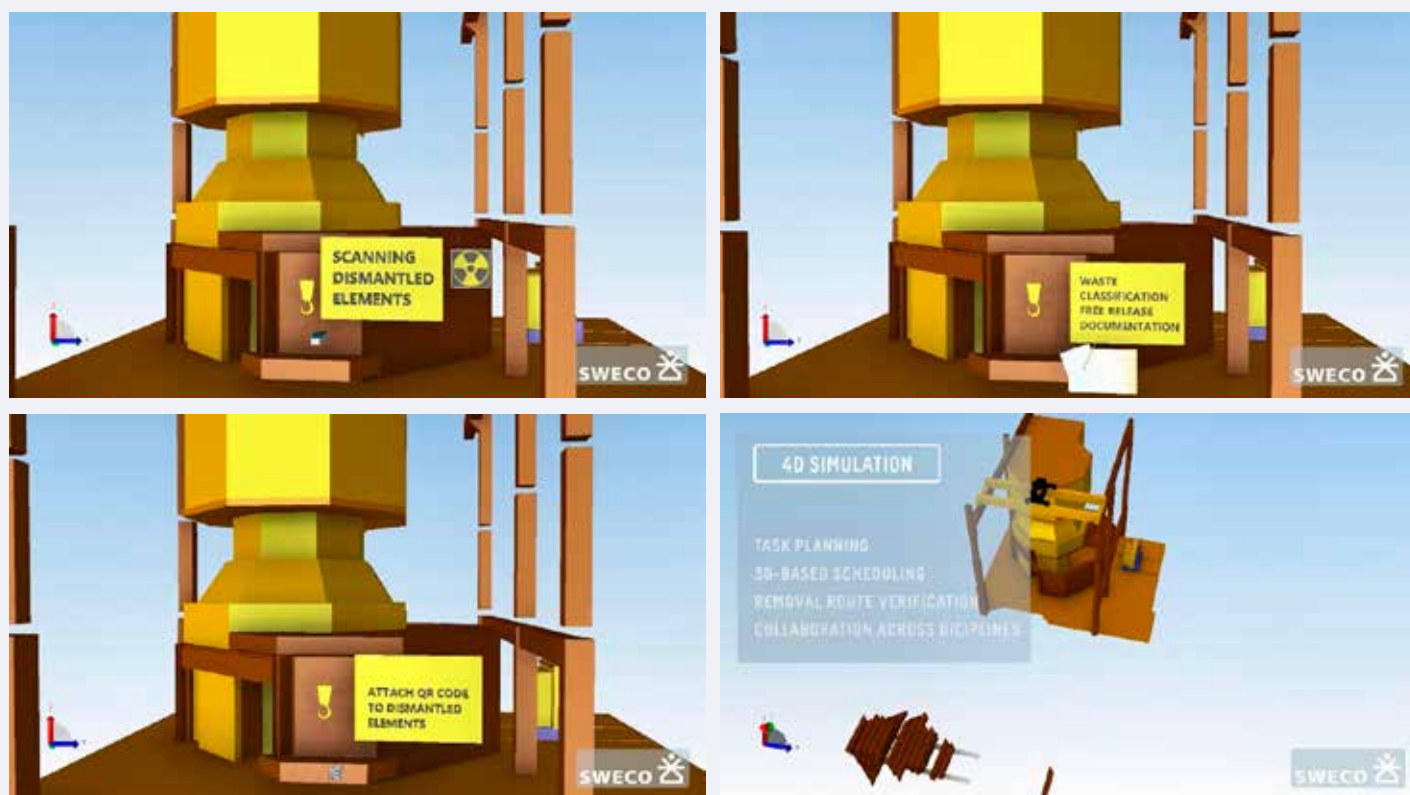


Figure 2. Virtual planning in 4D simulation; top left: Object contamination measurement; top right: waste classification documentation; bottom left: tracking objects with QR codes; bottom right: laydown yard location and space requirements.

bars exceeded 5 meters in length, this was not possible. Therefore, the activities were measured conservatively by collecting core samples from the locations where the activity had been measured to be the highest in the plastic plates. Measuring core sample gamma activities and utilizing material-wise nuclide vectors [6], indicated the specific activities were below clearance levels. However, as the BNCT structure was inside the controlled area of the reactor site, the surface contamination had to be measured comprehensively as well.

Although the length of each bar varied a lot, almost all of them had the same cross section of 40 x 40 cm. Therefore, VTT planned a custom-built measurement rack using four 600 cm<sup>2</sup> solid scintillator contamination meters Thermo Fisher DP8 (Figure 4). Thus, the operator could measure with four detectors simultaneously. Some irregular sized objects were measured using smaller handheld contamination meters.

Before starting the measurements, the contamination meters were also calibrated using standard activity surface sources [7]. The same surface detectors will be used later in the FiR 1 reactor decommission-

ing project to verify clearance of the whole building after removing all the radioactive materials.

**Data management**

The digital decommissioning approach allowed management and processing of the data generated throughout the project lifecycle. All digital data produced and collected in building the 3D modelling was stored in secure file folders with specified data management protocols (such as country server locations), in adherence with national security requirements related to a nuclear facility in Finland. In Sweco's system the important data is attributed to the objects and follows the objects as the project develops.

Capturing the data for activity measurements in real time was based on the ascii output files generated from the Thermo Fisher DP8 meters. These files were stored as raw data and linked to each object in the model with a time stamp. The raw data was postprocessed automatically to provide immediate data reports for VTT's documentation requirements. The parameters processed included summary, max, min, mean and standard deviation values for alpha and beta count rates along each dismantled component. STUK inspectors visited the dismantling site and reviewed the measurement data during the project.

The Radeye Software from Thermo Fisher allows measurement data from DP8 contamination meters to be read only for one detector at a time. This was solved by running four virtual operating systems in a single computer and combining the data from all the detectors simultaneously with an auxiliary software created by Sweco. After each measurement, the software also condensed the data such that the user could easily see if there were any hot spots or if there had been any malfunction in the detectors during the measurement. This also enabled the visiting STUK inspectors to review the data on-site easily.

The ability to store, process, procure and share information from data sets for wider project needs is an important benefit of using digital platforms in decommissioning projects. The contamination measurement data was subsequently embedded in the 3D model after the dismantling and removal of the BNCT structure was completed (Figures 5 and 6).

QR codes were used to enable the tracking of elements after removal from reactor hall. This supports the identification of elements after dis-

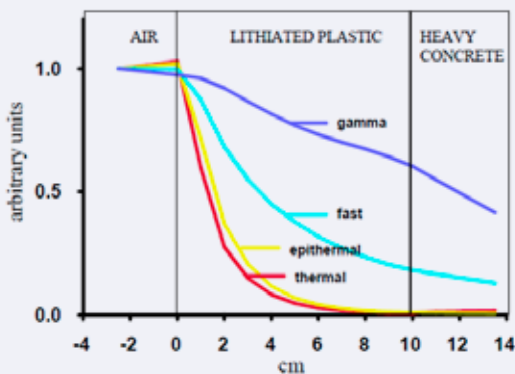


Figure 3. Calculated neutron absorption in the irradiation room wall materials. The absolute values for the fast neutron flux are very low even if its decay is slower than for thermal and epithermal flux. [3]



Figure 4. First design model of the measurement rack and the final rack in use (photo: Antti Rätty, VTT).

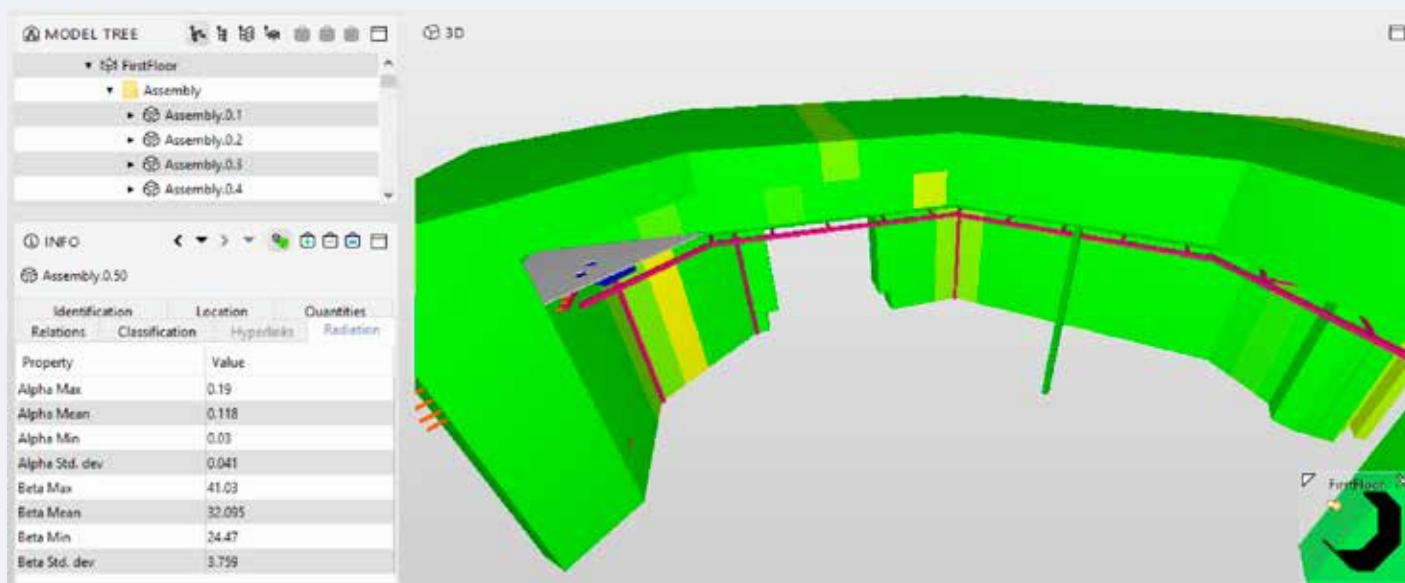


Figure 5. Embedded contamination data in the virtual model.



Figure 6. Lifting a heavy concrete bar from the irradiation room roof (photo: Antti Rätty, VTT).

mantling and logistics management for recycling or reusing elements. Decommissioning the FiR 1 activated core structures in 2023 will require additional shielding and some of the heavy concrete bars were stored on site to be used for shielding purposes later.

### Summary and future applications

Dismantling the BNCT irradiation room was part of the preparatory actions needed to shift towards dismantling the activated parts of the reactor. Digital tools were piloted in planning and executing the decommissioning process. The digital platform enabled virtual planning of the project and data management throughout the dismantling work.

The project provided an opportunity for demonstrating decommissioning capabilities in Finland and an innovative digital approach to planning and managing the decommissioning of nuclear facilities. Excellent cooperation between Finnish stakeholders in the dEComm project was established. The project demonstrated successful working relationship with sub-contractors in the controlled area of the FiR 1 reactor hall.

Handling large decommissioning waste objects required custom solutions to measure the activation and contamination levels in real time during the mechanical dismantling. Sample measurements and large area contamination meters enabled performing the project smoothly, without additional bottlenecks that would have slowed down the mechanical dismantling.

The contamination measurement data was linked to each BNCT object and stored for future reference. The digital approach is useful for future decommissioning activities and long-term data management and tracking of decommissioned objects. VTT will use the DP8 detectors later in the reactor decommissioning project to free-release large surface areas in the controlled area of the FiR 1 reactor hall floor and walls. Being able to store the data is also an essential point to be able to license for building clearance to unrestricted use.

### References

- [1] I. Auterinen & L. Kankaanranta, Neutronikaappaushoitoa kehitetään BNCT-asetamalla, ATS Ydintekniikka 2/2001.
- [2] Sweco's Smart Solution for Nuclear Decommissioning, <https://www.youtube.com/watch?v=HFtEdFMbpA4>
- [3] P. Kotiluoto et al., Shielding design and calculations for the Finnish BNCT facility, proceeding of 8th International Symposium on Neutron Capture Therapy for Cancer, La Jolla, CA, USA, 13 - 18 Sept. 1998.
- [4] A. Rätty, T. Kekki, M. Tanhua-Tyrkkö, T. Lavonen, E. Myllykylä, Preliminary Waste Characterisation Measurements in FIR 1 TRIGA Research Reactor Decommissioning Project, Nuclear Technology, Volume 203, Issue 2, August 2018.
- [5] Säteilyturvakeskus, Matala- ja keskiaktiivisten ydinjätteiden käsittely ja ydinlaitoksen käytöstäpoisto, YVL-ohje D.4, 15.12.2019.
- [6] A. Rätty & A. Leskinen, FIR 1 -tutkimusreaktorin aktivoituneiden rakenteiden esivaiheen nuklidivektorit, VTT tutkimusraportti VTT-R-00114-22, 2022.
- [7] A. Rätty & T. Kekki, Soveltuvuusarvio Thermo Fisher DP8A-pintakontaminaatiomittareille, VTT tutkimusraportti VTT-R-00546-22, 2022.s

### Authors



**PhD Antti Rätty**

Senior scientist, Nuclear decommissioning  
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.  
antti.ratty@vtt.fi



**BEng Civil, MSc. Fionán O'Carroll**

Development Manager, Nuclear Projects  
Sweco Structures Ltd.  
fionan.ocarroll@sweco.fi

## MEILLÄ ON SUUNNITELMA

Uskomme, että perusta kestäväälle yhteiskunnalle rakennetaan suunnittelupöydillä. Kestävät ratkaisut edellyttävät yhteistyötä, laadukasta yhteensovittamista ja teknologioiden monipuolista soveltamista.

Sweco on rakennetun ympäristön ja teollisuuden asiantuntija Suomessa ja maailmalla. Rakennesuunnittelun osalta olemme selkeä markkinajohtaja Suomessa ja palvelumme kattavat kaikki rakennesuunnittelun osa-alueet, kohdetyypit ja materiaalit. Uusien teknologioiden hyödyntämisessä olemme alamme edelläkävijä.

Suuri tai pieni, jokainen hanke on yhtä tärkeä. Helposti lähestyttävät ja sitoutuneet työntekijämme varmistavat, että saat hankkeisiisi aina tarpeidesi mukaista osaamista.

Lue lisää: [www.sweco.fi](http://www.sweco.fi)

**SWECO** 



# Diplomityö: Ydinvakiodatan epävarmuuksien propagointia palamalaskentaan

Lauri Vaara

VTT - Technical Research Center of Finland

Tässä artikkelissa esitellään diplomityö palamalaskennan epävarmuuksista. Ydinvakiodatan epävarmuuksien vaikutusta reaktorifysiikkakoodin Serpent 2.1.31 palamalaskentaan tutkittiin satunnaistamalla ydinvakiosyötteen parametreja T6-ohjelmistolla. Epävarmuusanalyysi suoritettiin toistamalla sama palamalasku useita satoja kertoja samalla vaihdellen ydinvakiosyötettä laskusta toiseen. Ydinvakiodataa varioitiin 43:lle reaktorifysiikan kannalta merkittävälle nuklidille. Tämän lisäksi nuklidien U-235, U-238 ja Pu-239 datan epävarmuuksien vaikutusta tarkasteltiin tarkemmin varioimalla näiden nuklidien tiedostoja yksi kerrallaan omissa laskentakokonaisuuksissaan.

A thesis project regarding nuclear data uncertainty propagation in burnup calculations is presented in this article. The impact on the output of burnup calculations of Serpent 2.1.31 from nuclear data uncertainties was studied by producing randomized nuclear data files with a software package called T6. The uncertainty analysis was performed by repeating identical burnup calculations hundreds of times while varying the nuclear data input. The data randomization was performed on 43 nuclides of importance. Additionally the impact from U-235, U-238 and Pu-239 nuclear data uncertainties was scrutinized more in-depth by varying the data input of these nuclides individually in their respective calculation sets.

Moderni reaktorifysiikka perustuu pitkälti laskennalliseen tutkimustyöhön, jossa palamalaskut ovat keskeisessä roolissa esimerkiksi käytetyn ydinpolttoaineen ominaisuuksia määriteltäessä. Ydinpolttoaineen koostumuksen tarkka tunteminen niin reaktorin ajon aikana kuin ajon jälkeenkin on kriittisyysturvallisuuden ja loppuvarastoinnin kannalta äärimmäisen tärkeää, jotta ydinteknologiaa voidaan hyödyntää tehokkaasti ja turvallisesti.

Esimerkiksi käytetyn ydinpolttoaineen jälkilämmön tuotto määrittää kuinka lähelle ydinpolttoainekanisterit voidaan järjestää loppusijoituspaikassa. Liian läheinen sijoittaminen voi johtaa positiiviseen reaktiivisuuteen, tai polttoaineen sulamiseen, mistä voi seurata radioaktiivisten aineiden vapautuminen loppusijoituspaikasta. Onkin siis äärimmäisen tärkeää, että palamalaskennan tuloksien epävarmuudet tunnetaan tarkasti, jotta onnettomuuksia ei pääse syntymään.

## Ydinvakiodata palamalaskennan pohjana

Palamalaskennassa materiaalien koostumuksen muutokset palama-aseleesta seuraavaan lasketaan tuntemalla reaktionopeudet eri reaktiokanaville. Reaktionopeudet estimoidaan simuloimalla yksittäisten neutronien liikettä mallinnetussa geometriassa. Kun kymmeniä tuhansia neutroneja on simuloitu, saadaan estimaatit eri reaktionopeuksille. Simuloidun neutronin elinkaari reaktorisydämessä riippuu ydinvakio-

datasta, jolla määritellään esimerkiksi todennäköisyydet eri reaktioille neutronien ja atomiytimen välillä. Näitä todennäköisyyksiä karakterisoi vaikutusladata, joka yhdessä muun ydinvakiodatan kanssa muodostaa peruspilarin palamalaskennalle.

Tärkeille reaktiokanaville vaikutusladatan epävarmuudet ovat pieniä, noin kahden prosentin luokkaa [1], mutta monille heikommin tunnetuille reaktiokanaville datan laatu on korkeintaan kyseenalaista. Tämä johtuu yleisesti siitä, että mittausdataa on usein vaikeaa ja kallista tuottaa, jolloin mittauksen suorittaminen ei välttämättä ole kannattavaa. Ongelmia luo esimerkiksi kohdenuklidin lyhyt puoliintumisaika, reaktiokanavien erottelu toisistaan, näytteen epäpuhtaudet, sopivan näyttekappaleen luonti sekä neutronien kiihdyttäminen laajalle energiahaurukalle.

Puutteellista mittausdataa täydennetään matemaattisilla ydinreaktiomalleilla, jotta vaikutusladatan arviointi saadaan kattamaan tarpeeksi laaja energiahaurukka. Ydinreaktiomallit perustuvat monille parametreille, joiden nuklidikohtaiset arvot ovat epävarmoja. Tämän lisäksi puutteellinen teoreettinen tieto sekä lukuisat approksimaatiot luovat merkittävää epävarmuutta mallien ennustamaan vaikutusladataan. Seuraava luonnollinen askel onkin siis kysyä kuinka luotettavia ovat palamalaskennan tarjoamat tulokset, kun ydinvakiodatassa laskujen pohjalla on merkittävää epävarmuutta. Kuva 1 esittää ydinvakiodatan luonnin prosessia reaktorifysiikkakoodille Serpent 2.1.31.

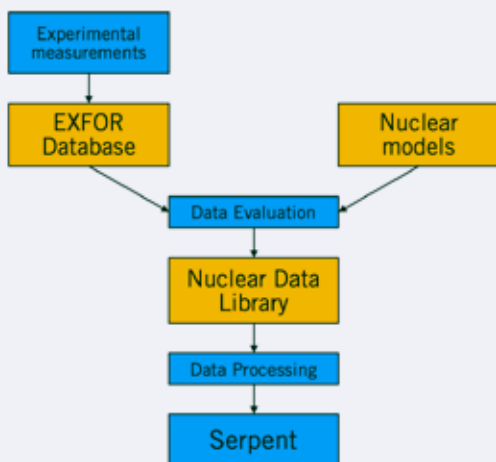
**Total Monte Carlo -menetelmä**

Yksi lähestyminen ongelmaan on lähteä luomaan variaatioita ydinvakiodataan epävarmuusmarginaaleja kunnioittaen. Palamalaskun toistaminen satoja kertoja satunnaistetulla ydinvakiodatalla mahdollistaa ydinvakiodatan epävarmuuksien huomioimisen palamalaskennassa, ja epävarmuus on suoraan nähtävissä tulosten varianssissa. Tämä onkin juuri se idea mistä Total Monte Carlo -menetelmä lähtee liikkeelle: luodaan uusia, satunnaistettuja ydinvakiotiedostoja tärkeimmille nuklideille, minkä jälkeen valitaan satunnainen kombinaatio ydinvakiotiedostoja palamalaskun pohjalta. Ajetaan sama palamalasku satoja kertoja ydinvakiodataa vaihdellen, jotta tilastolliset tunnusluvut saadaan konvergoitumaan riittävästi.

Palamalaskun tulosten varianssi rakentuu näin kahdesta komponentista: neutronin liikkeen satunnaistamisen luomasta Monte-Carlo-variانسsista ja ydinvakiodatan satunnaistamisesta syntyneestä variانسsista. Monte-Carlo-variانسsin estimoimiseksi on tärkeää laskea vastaava määrä palamalaskuja samalla ydinvakiodatalla. Näin Monte-Carlo-variانسsi voidaan erottaa ydinvakiodatan epävarmuuksista syntyvästä variانسsista, ja epävarmuutta voidaan mitata jollain sopivalla tilastollisella tunnusluvulla puhtaasti ydinvakiodatan epävarmuuksien pohjalta.

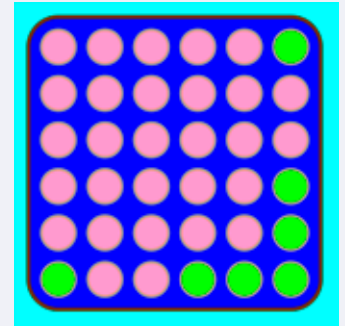
Satunnaisten ydinvakiotiedostojen luonti toteutettiin T6-ohjelmistolla [1]. T6 sisältää kuusi pääkoodia, joista jokainen on vastuussa eri ydinvakiodatansa luonnista. Jokainen koodeista kykenee luomaan satunnaistettua ydinvakiodataa, joten satunnaistaminen ei rajoitu pelkästään vaikutusladataan. Muun muassa sirontakulmajakaumat, fissionen neutronin energiaspektri ja resonanssiparametrit saavat omat satunnaistuksensa. Satunnaistettuja fissiotuottoja tai hajoamisvakioita ohjelmistolla ei toistaiseksi voi luoda, mikä osiltaan supistaa epävarmuusanalyysin kattavuutta.

Datan satunnaistaminen tapahtuu arpomalla ydinmallien parametrit ennalta määritetyistä jakaumista, minkä jälkeen ydinmallilaskut suoritetaan. Jos tuotettu data ei osu olemassa olevan mittausdatan epävarmuusmarginaaleihin, hylätään tuotettu data. Prosessia toistetaan, kunnes epävarmuusmarginaaleihin osuva ydinvakiodatatiedosto saadaan luotua. Näin tehden korrelaatiot ydinmalliparametrien välillä otetaan automaattisesti huomioon, eikä a priori -jakaumia tarvita. Datan luonti reaktiokanaville, joille mittausdataa on kattavasti saatavilla, tapahtuu ilman ydinreaktiomalleja. Datan satunnaistaminen tapahtuu tällöin käytämällä olemassa olevia datavektoreita ja virhe-estimaatteja.



Kuva 1. Ydinvakiodatan luonti ja prosessointi reaktorifysiikkakoodille Serpent 2.1.31.

Kuva 2. Palamalaskennassa käytetty polttoainemallin nippumalli. Vihreä: ydinpolttoaine (2,53 %). Pinkki: ydinpolttoaine (1,87 %). Harmaa: suoja-kuori (Zry-2). Tummansininen: jäähdyte (H<sub>2</sub>O). Ruskea: kanavan seinä (Zry-4). Vaaleansininen: moderaattori (H<sub>2</sub>O).



**Käytännön toteutus**

Kaikki aikaisemmassa kappaleessa mainittu on automatisoitu, jolloin ohjelman käyttäjälle ydinvakiodatan luonti on teoriassa hyvin helppoa. Käytännössä T6 on vielä kehitysvaiheessa, ja sen asennus uudelle alustalle harvoin tapahtuu ilman suurempia ongelmia. Tämän lisäksi ydinvakiodataa tulee prosessoida erillisellä ohjelmalla sopivassa lämpötilassa, jotta Serpent 2.1.31:lle sopiva formaatti saavutetaan. Tämä prosessointi toteutettiin NJOY2016-ohjelmalla [2].

Palamalasku toteutettiin rakentamalla malli saksalaisen kiehutusvesireaktorin 6x6-polttoainemallin pohjalta. Mallinnus toteutettiin kahdessa ulottuvuudessa. Mallin geometria on nähtävissä kuvassa 2. Kyseisen reaktorin polttoaineen elinkaareen kuuluu reaktorin sammutukset palamalla 5,8, 12,0 ja 17,5 MWd/kgU, mitkä huomioitiin palamalaskussa. Nämä reaktorin sammutukset voi nähdä kuvassa 3 piikkeinä kasvukertoimessa kyseisillä palamilla. Palamalaskut laskettiin 84 MWd/kgU asti, jotta korkean palaman polttoaineen epävarmuudet saatiin otettua huomioon.

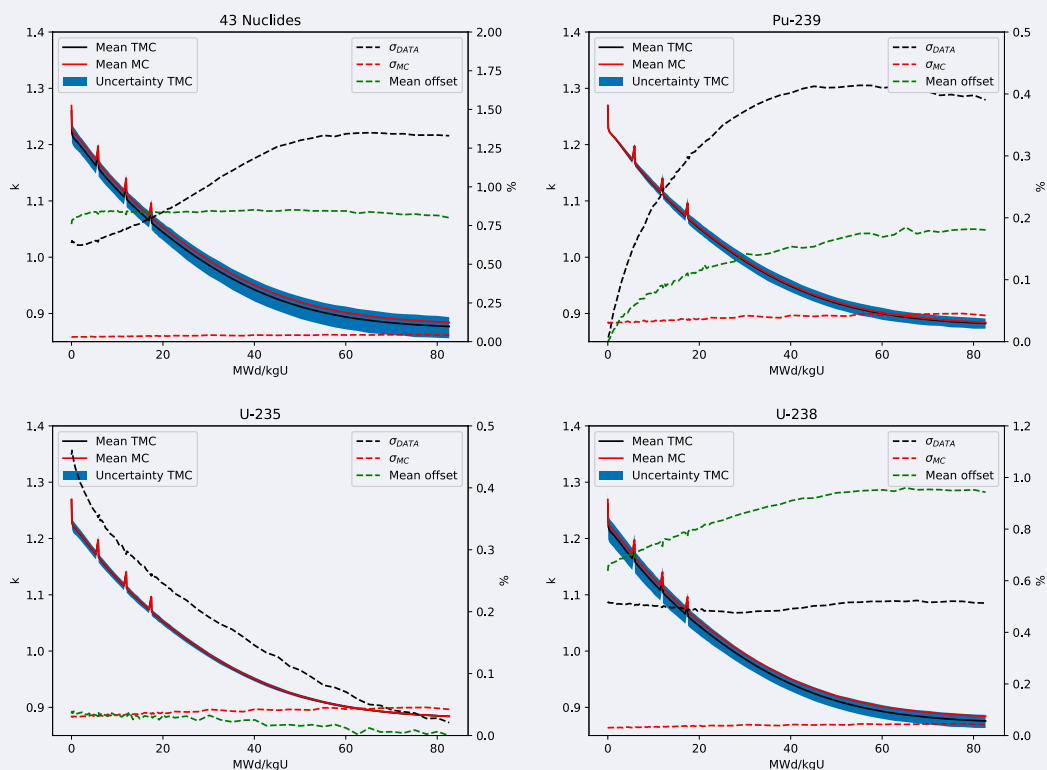
Analyysia varten laskettiin yhteensä viisi laskentakokonaisuutta: viidensadan toiston kokonaisuus, jossa ydinvakiodata pidettiin vakiona (Monte-Carlo-variانسsin estimoimiseksi); kahdensadan toiston kokonaisuus, jossa dataa satunnaistettiin 43 nuklidille ja kolme viidensadan toiston kokonaisuutta, joissa data satunnaistettiin ainoastaan nuklideille U-235, U-238 ja Pu-239 yksi kerrallaan. Nämä nuklidit valittiin tarkempaan tarkasteluun niiden merkittävyyden takia reaktorifysiikassa. Kahdensadan laskun kokonaisuuden nuklidit valittiin kattamaan kaikki merkittävimmät polttoaineisotoopit, transuraanit, fissiotuotteet, rakenne- ja epäpuhtaudet.

Laskentakokonaisuus, jossa ydinvakiodata pidettiin vakiona (referenssilaskukokonaisuus) laskettiin virallisilla TENDL-2019-kirjaston tiedostoilla [3]. Tämä kirjasto valittiin pohjaksi sen vuoksi, että kirjaston ydinvakiodata on pitkälti tuotettu T6-ohjelmistolla. Näin tehden systemaattinen virhe referenssilaskujen ja satunnaistettujen laskujen välillä saatiin mahdollisimman pieneksi. Ydinvakiodatan epävarmuuden mittariksi valittiin suhteellinen keskihajonta, josta oli vähennetty Monte-Carlo-variانسsi.

**Tulokset**

Kuvassa 3 kuvataan kasvukertoimen aikakehitystä palaman funktiona eri laskentakokonaisuuksissa. Mean TMC -käyrä kuvastaa kasvukertoimen keskiarvoa, joka on saatu satunnaistetuista laskentakokonaisuuksista. Mean MC -käyrä kuvaa puolestaan keskiarvoa referenssilaskukokonaisuudesta, ja sininen epävarmuusnauha on valittu sisältämään 95 % satunnaistetuista laskuista. Nämä käyrät luetaan vasemmanpuoleiselta y-akselilta.

Kuva 3. Kasvutekijän keskiarvo ja epävarmuudet eri laskentakokonaisuuksissa.



Musta katkoviiva kuvaa suhteellista keskihajontaa satunnaistetussa laskentakokonaisuudessa, josta on vähennetty Monte-Carlo-varianssi.

Punainen katkoviiva kuvaa suhteellista keskihajontaa referenssilaskukokonaisuudessa ja vihreä katkoviiva kuvaa suhteellista eroa Mean TMC ja Mean MC -käyrien välillä. Katkoviivojen arvot luetaan oikealta y-akselilta.

Monte-Carlo-varianssi oli jokaisessa laskukokonaisuudessa pientä suhteessa datan satunnaistuksesta syntyneeseen varianssiin, mikä korostaa ydinviakiodatan epävarmuuksien merkittävyyttä palamalakennassa. Yhden nuklidin laskukokonaisuuksista suurinta vaihtelua sai aikaan U-238-datan satunnaistus, luoden noin 0,5 % suhteellisen keskihajonnan palamasta riippumatta. U-235:n satunnaistuksen luoman keskihajonnan voimakas lasku palaman funktiona selittyi vähenevällä U-235:n konsentraatiolla, jolloin U-235:n ydinviakiodatan merkitys kasvutekijään vähenee.

Sitä vastoin Pu-239:n satunnaistuksen luoma keskihajonnan kasvu välillä 0-40 MWd/kgU selittyi kasvavalla Pu-239:n konsentraatiolla. Pu-239 syntyy U-238:sta neutronikaappauksen seurauksena, ja Pu-239:n konsentraation tasapainotilan saavuttaminen kestää luonnollisesti aikaa.

Suurin epävarmuus syntyi, kun ydinviakiodata satunnaistettiin 43 nuklidille. Suurin osa tästä hajonnan kasvusta todennäköisesti selittyi tiettyjen transuraanien ydinviakiodatan epävarmuuksista. Tutkimuksessa selvisi, että esimerkiksi Pu-240:n konsentraatiossa oli suurta epävarmuutta, minkä selittäväksi tekijäksi identifioitiin Pu-240:n ydinviakiodata. U-238:n lasku- ja referenssilaskukokonaisuuksien välillä oli merkittävä systemaattinen ero: referenssilaskut antoivat 0,6 % - 1,0 % suuremman kasvutekijän.

Opinnäytetyö on hyväksytty 29.8.2022 Aalto-yliopiston Perustieteiden korkeakoulussa.

#### Viitteet

- [1] Koning. A. J., Rochman. D. "Nuclear Data Evaluation with the TALYS Code System". Nuclear Research and Consultancy Group NRG, Netherlands, Petten, 2012.
- [2] MacFarlane. R. E., Muir. D. W., Boicourt R. M., Kahler A. C., Conlin. J. L., Haeck. W. "The NJOY Nuclear Data Processing System, Version 2016". Los Alamos National Laboratory. Updated for NJOY2016.53 in 2019.
- [3] Koning. A. J., Rochman. D., Sublet. J., Dzysiuk. N., Fleming M., Van der Marck. S. "TENDL: Complete Nuclear Data Library for Innovative Nuclear Science and Technology". Nuclear Data Sheets 155 (2019) 1.

#### Kirjoittaja



DI Lauri Vaara

Research Scientist  
Teknologian tutkimuskeskus VTT  
lauri.vaara@vtt.fi

# Harjoitus tuo olennaisen tärkeää turvallisuusaihepiirin uusosaamista eri tahoille

**K**ESÄN KUUMA VIILENI työntäyteiseksi syksyksi ja toi mukanaan kansanedustajat lomiltaan eduskunnan pöytien ääreen pohtimaan ja ratkomaan akuutteja kriisejämme, kotikutoisia ja globaaleja. Minäkin asetuin koneen ääreen palauttamaan kirjoittamalla mieleeni, mitä jotain ehkä mietin ensimmäisten viikkojen aikana silloin runsaat puoli vuotta sitten, jolloin Venäjä lähti suorittamaan niin sanottua erityisoperaatiota alias ”väkivaltaista tunkeutumista” eli selkokielellä hyökkäyssotaa Ukrainaan.

Isovenäläisethän siinä olivat ensin menneet valkovenäläisten vieraksi pitkästymiseen asti kyläilemään ja siitä sitten yhtä lailla kyllästymiseen ja kylmettymiseenkin asti liikaa laiskistuttuaan ja riittämättömästi tankattuaan lähteneet kiirehtimään vähävenäläisten vieraksi vapauttaukseen heidät, kuten Kreml tiedotti, kansalissosialismin ikeestä. Reitinvalintaan oli ilmeisesti useampikin peruste, ei vähiten se, että pohjoisen suunnasta tiet pääkaupunki Kiovaan olivat raskaille ajoneuvoille hyväkulkuisia ja matka presidentin vieraaksi lyhyempi ja nopeampi.

Ehkä tällaistaikin olin unenhorteessa miettinyt ja monia muita ajatuskulkuja päässäni pyörinyt? Ukrainassa en ole koskaan käynyt, mutta nähnyt olen paljon televisiokuvaa siitä viime kuukausina. Kovin erilaista siellä näyttää olevan kuin Venäjän Karjalassa. Karjalassa luonto Laatokan ympärillä on kuin Suomessa, mänty- ja koivumetsää, Ukrainassa avaria peltoja kuin meillä Pohjanmaalla, mutta rakennukset, satamat, tiet ja sillat kuin pommien jäljiltä. Jotain edes suuntaa antavasti vastaavaa Karjalassa olen nähnyt Viipurin ulkosatamassa Uuraassa ja Primorskissa, entisessä Koivistossa. Uuraassa lojuu laivaromuja meressä puoliupoksissa, ja Koiviston satamassa laivaromuja on paljon maissa kuivilla ikään kuin kuivatelakoituina.

**SUOMI JA RUOTSI** sitten hakivat Natoon. Taloustutkimus kysyi internet-paneelissaan suomalaisten Natoon liittymisen kannatusta: 23.–25.2. kannatus oli 53 %, 9.–11.3. 62 %, toukokuun alussa 76 %. Eduskunnan äänestyksessä 17.5. kannatus oli 94 %, vastustus 4 %. Voi kysyä, olisiko voinut mennä toisin? Kovin vaikea kuvitella, että olisi. Siinä tapauksessa Suomi ja Ruotsi sen vanavedessä olisivat ainoina maina jääneet sotilasliittoon liittoutumattomiksi maiksi Venäjän kainaloon toisiaan lämmittelemään, kun muut Venäjän EU- ja Nato-naapurimaat jyrkästi tuomitsivat Venäjän hyökkäyksen.

Olisivatko Suomi ja Ruotsi äänestäneet tyhjää myös YK:ssa tai peräti hyväksyneet Venäjän hyökkäyksen Ukrainaan? Vaiko Suomi ihan yksin ainoana hyväksynyt, sillä Ruotsi maailman johtavana moraalinvaalijana olisi kuitenkin tuominut? Jatkossa oltaisiin sitten ehkä oltu EU:n Venäjään kohdistamia pakotteita vastaan, yhdessä Unkarin kanssa?!

Ei nyt sentään. Olen analysoinut Suomen Natoon hakeutumisprosessin kehityskulkua myös uskottavan tuntuista kuvittelusta yksilöiden ja perheiden kokemuksen näkökulmasta. Kuvitelkaamme, että Venäjä on mies ja Ukraina vaimo. Mies jos hakkaa vaimon, niin näinkö vaimo vain hiljaisesti hyväksyy asian ja siitä taas jatketaan kuin mitään ei olisi tapahtunut? Tai tasa-arvon nimissä päinvastoin, siis vaimo hakkaa miehen, mutta tässä siis Venäjä on vaimo ja Ukraina mies. Venäjällä on kulttuurinen sanonta, että mies päättää, mutta vaimo kääntää miehen pään. Sulassa sovussa siis. Niin, tottahan tuollainen toisiaan huiskiminen, vaikka jokunen



huiskaus voisi mennä ohikin, jälkensä jättää suhteeseen. Johan jo lähipiirikin kehottaisi pariskuntaa eroamaan, lähipiiri vallankin ja naapurit.

Suomalaisessa media- ja some-keskustelussa yksikin kerta tyypillisesti jo riittää. Sitä paitsi Suomessa on oikein lain voimalla tuomittu riitapukareita toisen, joskus jopa toistensa lähestymiskieltoon. Meillä täällä homma toimii. Kirjailija Panu Rajala (77 v.) sai oikeudenkäyntikuluineen lähes 7 000 euron sakot, kun käveli viime vappuna Hämeenkyrössä naapurin kotipihaan läpi neljä kertaa, kerran röyhkeästi oikein ylioppilaslakki päässä. Sitä ennen oikeusistuon oli tuominut hänet naapurin lähestymiskieltoon. Tällaista kertoi Helsingin Sanomat 7.9.2022. Naapuri on Rajalan ex-vaimon tytär, olivat aiemmin välilöissä, nyttemmin ei.

Onhan mitä uskottavinta, että ihmiset lopulta eroavat väkivaltaisista suhteista. Ja jos skaalaa tällaisen suhteen miljoonien ja taas miljoonien ihmisten tasolle, ikään kuin kahden valtion kuten tässä Venäjän ja Ukrainan väliseksi suhteeksi, niin sitä suuremmalla syyllä. Suomen näkökulmasta tämä case on naapurin naapuri seuraamassa sivusta naapurin ja toisen puolen naapurin välistä vihanpitoa. Ja äkkiäkös siinä voi joutua itsekin osapuoleksi riitaan, jopa riitapukareiden väliin! Kyllä se on aidosti win-win-tilanne, että riitapukarit tällaisessa tapauksessa eroavat.

Venäjän ja Ukrainan tapauksessa iso ongelma toki on se, että kansat ovat veljeskansoja.



Ja kuten perheissäkin vanhemmat ja heidän lapsensa ovat vanhempia ja heidän lapsiaan, vaikka eroaisivatkin, eivät lopulta kuitenkaan oikein pääse irti toisistaan. On tuota "ihminen voi lähteä Lapista mutta Lappi ei ihmisestä"-identiteettiä. Siksi pä tällaisissa tapauksissa naapurit ovat lähimpinä asiantuntijanaapureina eräänlaisia "uskottuja miehiä" kuin myös instituutit kuten YK, EU, Kansainvälinen olympiakomitea, Kansainvälinen sotarikostuomioistuin.

**NIIN, SUOMI JA RUOTSI** siis hakivat jäsenyyttä Natoon. Se tapahtui 18.5.2022. Siitä alkoi sitten yhdenlainen ulko- ja turvallisuus-, energia- ja ilmastopoliittinen hurlumhei. Ei aikaaakaan, kun Turkista rupesi kuulumaan kummia. Ihan toisenlainen ääni uuden tyyppisistä Suomelle ja Ruotsille vieraista oudon eksootisista aiheista oli kellossa kuin takavuosina

Suomen ja Venäjän ja sitä ennen Suomen ja Neuvostoliiton välisessä kahdenvälisessä vuoropuhelussa. Selvästikin rivikansalaiselle kävi ilmi, että molemmille, Suomen valtiollalle ja medialle, tämä kaikki oli uutta outoa kanssakäymistä, jota on tästä lähtien ruvettava toden teolla harjoittelemaan ja opettelemaan, lyhykäisesti harjoittamaan. On opittava tuntemaan ja tunnistamaan liittolais- ja kumppanimaiden kuin myös "uusien kriittisesti suhtautuvien vastustajamaiden" ajankohtaisia kysymyksiä ja kulttuuria, globaalisti ja vastavuoroisesti. Ja myös hyväksyttävä ja opittava hyväksymään, että tekeväälle myös sattuu virheitä ja onnettomuuksia.

Asiantuntijathan ja ylipäättään alojensa huiput noita tekijöitä ja tekeviä ovat. TKK:n professori Pauli Jumppanen tapasi toisinaan tokaista luennoidessaan 1970-luvulla oppilailleen liitutaalulla, kun sattui tekemään virheen: "Tekomiehelle sattuu susia." Pituushyppääjä se saattaa hypätessään paukuttaa akillesjän-teensä poikki, ei sohvaperuna TV:tä katsellessaan. Tästä pääsen pikkuhiljaa otsikon asiaan – hyvä, hyvä, oli jo aikakin! Koulussa opettaja olisi tässä vaiheessa jo hermostunut ja jättänyt aineen luvun kesken. Lukemattakin arvosana 4- tuollaisesta, kun kaveri ei kerta kaikkiaan osaa mennä asiaan.

Tietystä mielessä ennen oli helppoa. Teekkarien kesäretkellä Pikku Nauvossa vuonna 1968 kaksi veijaria pelleili kerran uimahoususillaan. Yksi huusi männyn takaa: "Urkki hei!". Toinen vastasi toisen männyn takaa: "Mitä Nikita?", mihin edellinen: "Tuo

honka on vähän tiellä." Marraskuussa 1961 Kekkonen oli käynyt Siperian Novosibirskissä Hrustshevin vieraana ja, kuinka ollakaan, hänen vastaehdokkaansa vuoden 1962 presidentinvaalissa, kuuden puolueen asettama ehdokas, oikeuskansleri Olavi Honka luopui ehdokkuudestaan heti kohta Kekkonen palattua Suomeen.

Elokuussa 1968 Neuvostoliitto liittolaisineen jyristeli panssarivaunuletakassa Prahaan. Kuukautta myöhemmin Kekkonen ja Kosygin tulivat venäläissotalaivalla Hankoon. Satamalaiturilla otetussa valokuvassa nuo kaksi leveästi kuin kaksi Hangon keksiä hymyilevää urheilukalastajaa poseerasivat kameroille. Oli ollut onnistunut reissu ulkomerellä. Kosyginillä oli kuvassa urheilullinen propellipipo päässään ja hän näytti kookkaan Kekkonen rinnalla kuin keskenkasvuiseilta tei-

nipojalta. Pipon takana sotalaivan tutkan siivekkeet tekivät kuvan pipon propellin virkaa, mikä oli uutisvalokuvaajalta palkinnon arvoisen otos; palkinnon hän kenties saikin, palkkion ainakin.

**TEKKARIEN JÄYÄ- JA TEMPAUSKULTTUURI** on aina ollut hyvin innovatiivista ja ajassa ajankohtaista. Aikoinaan tempaistiin teemalla "Otaniemi on, Teekkarikylä tehtiin". Tulosta syntyi. Dipoliin Hietalahdentorilta muuton juhlistamiseksi tempaistiin monella riemasuttavalla tavalla. Yksi vähälle huomiolle jäänyt tempaus oli Elektroniikka 69 -näyttely Dipolissa. 40 näyttelyosaston pitäjistä yksi oli Espoon Ruununbruukki Ltd. Sen tuotevalikoimaan kuului muun muassa eri väristen atomien, useimmiten vielä kuitenkin mustien, valmistus. Käytetyille tietokoneen reikäkortteille tehtiin kehitystyötä niiden uusiokäyttämiseksi. Ensin reikäkortit oli kuitenkin pestävä. Näyttelyosastolla oli silloin jo museosarjan Upo-pulsaattoripesukone, jossa reikäkortit pestiin, minkä jälkeen ne pantiin pyykkipojilla pyykkinarulle kuivumaan. Yleisökysymyksenä oli kysymys, kuinka monta reikää oli muovipussillisessa reikäkortteja, ja hakutehtävänä oli: "Etsi viallinen Ö!" Sellainen oli osastolla josain piilossa: Ö, jossa oli kolme pistettä.

Valokopiot olivat tuolloin uusinta uutta. Näyttelyosaston esitteitä valmistettiin 3000 kappaletta, kaikki meni eikä riittänyt-kään. Tuosta ajasta on jo yli 50 vuotta. Fuusioreaktoria vielä kehitellään, sehän luvataan saada käyttöön aina 30 vuoden päästä, mutta synteettistä biolihaa ja -proteiinia jo valmistetaan ja muuta lannoitetta ja synteettisiä polttoaineita. Vielä ei atomeja niinkään kyetä valmistamaan, mutta molekyylejä kyllä ja erilaisia kemiallisia yhdisteitä, joten lupaavalla tiellä ollaan.

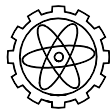
Viimeisin teekkari-innovaatio, vai sanoisin-ko analyysi tulevasta, on vanhan tunnetun tietoisun vuodelta 1985 uusiokäyttö hyvään tarkoitukseen: "Jos ajat, et ota. Jos otat, et aja. Jos et aja, ota! Ota mitä? Ota Nato! Nato? Otan." Toisenkin hauskan lämpöteknisen kytteytyksen eli letkautuksen kuulin "insinööriolusilla" käydessäni. Vaimo kiitteli miestään joskus aiemmin häneltä lahjaksi saamastaan turkista: "Turkki se vaan hienosti lämmittää!" Johon mies, että "sinä sitä Turkia lämmität eikä Turkki sinua." Molempi parempi, oli sitten kyse turkista tai Turkista. Tästä on hyvä jatkaa. Tosin joskus toisella kertaa, nyt pitää lopettaa, kun pomo käskää töihin.

#### Turvallisuusfilosofi

# ATS illallisristeilyllä

ATS järjesti jäsenistölle illallisristeilyn perjantaina 5.8.2022. Risteilyalus Doris II kyydissään lähes sata seuran jäsentä lähti Helsingin Kauppatorilta illansuussa ja palasi sinne muutamaa tuntia myöhemmin. Risteilyn aikana ehdittiin nähdä vierailulla ollut maihinnousutukialus USS Kearsarge, Lauttasaari, Espoon rannikkoa Soukkaan asti, Suomenlinna sekä merialuetta ja saaristoja Vuosaaren satamaan saakka. Oheiset risteilykuvat otti Tomas Lindén.





# ATS

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

## JÄSENHAKEMUS - MEDLEMSANSÖKNING

Täydellinen nimi \_\_\_\_\_

Fullständig namn

Kotipaikkakunta \_\_\_\_\_

Hemort

Sähköpostiosoite \_\_\_\_\_

E-mail

Jakeluosoite \_\_\_\_\_

Postadress

Postinumero ja -toimipaikka \_\_\_\_\_

Postnummer och adressort

Syntymävuosi \_\_\_\_\_

Födelseår

Puhelinnumero \_\_\_\_\_

Telefonnummer

Opinnot ja suoritettut tutkinnot - Studier och avlagda examina

Nykyinen toimipaikka ja tehtävä tai virkanimike - Nuvarande tjänst och uppdrag eller yrkesbenämning

Aikaisempi toiminta - Tidigare verksamhet

Hyväksyn, että nimeni ja toimipaikkani julkaistaan ATS:n kotisivulla.

Henkilötietojen käsittelyä koskevan henkilötietolain 24§:n tarkoittama informaatio on saatavilla seuran sihteeriltä.

Paikka, aika ja allekirjoitus \_\_\_\_\_

Ort, datum och underskrift

Suosittelijat (nimikirjoitus ja selvennys)

Förordarna (namnteckning och förtydligande)

Hyväksytty Johtokunnassa \_\_\_\_\_

Godkänt av Direktionen

Kutsu lähetetty \_\_\_\_\_

Kallelse sänd

**Palautusosoite:**

Suomen Atomiteknillinen Seura  
PL 78  
02151 ESPOO

**Osoitteenmuutokset:**

sihteeri@ats-fns.fi



---

**KANNATUSJÄSENET**

---

**Fennovoima Oy**

**Pohjoismainen  
Ydinvaruutuspooli**

**Teollisuuden Voima Oyj**

**FinNuclear ry**

**Pohjolan Voima Oyj**

**TVO Nuclear Services Oy**

**Fortum Power  
and Heat Oy**

**Posiva Oy**

**Voimaosakeyhtiö SF Oy**

**Platom Oy**

**Sweco Finland Oy**

**Westinghouse**

**Teknologian  
tutkimuskeskus VTT Oy**