

# ATS

4|2024

Vol. 53

## YDINTEKNIikka

---

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

---

### **Uusien rutiinien käyttöönotto**

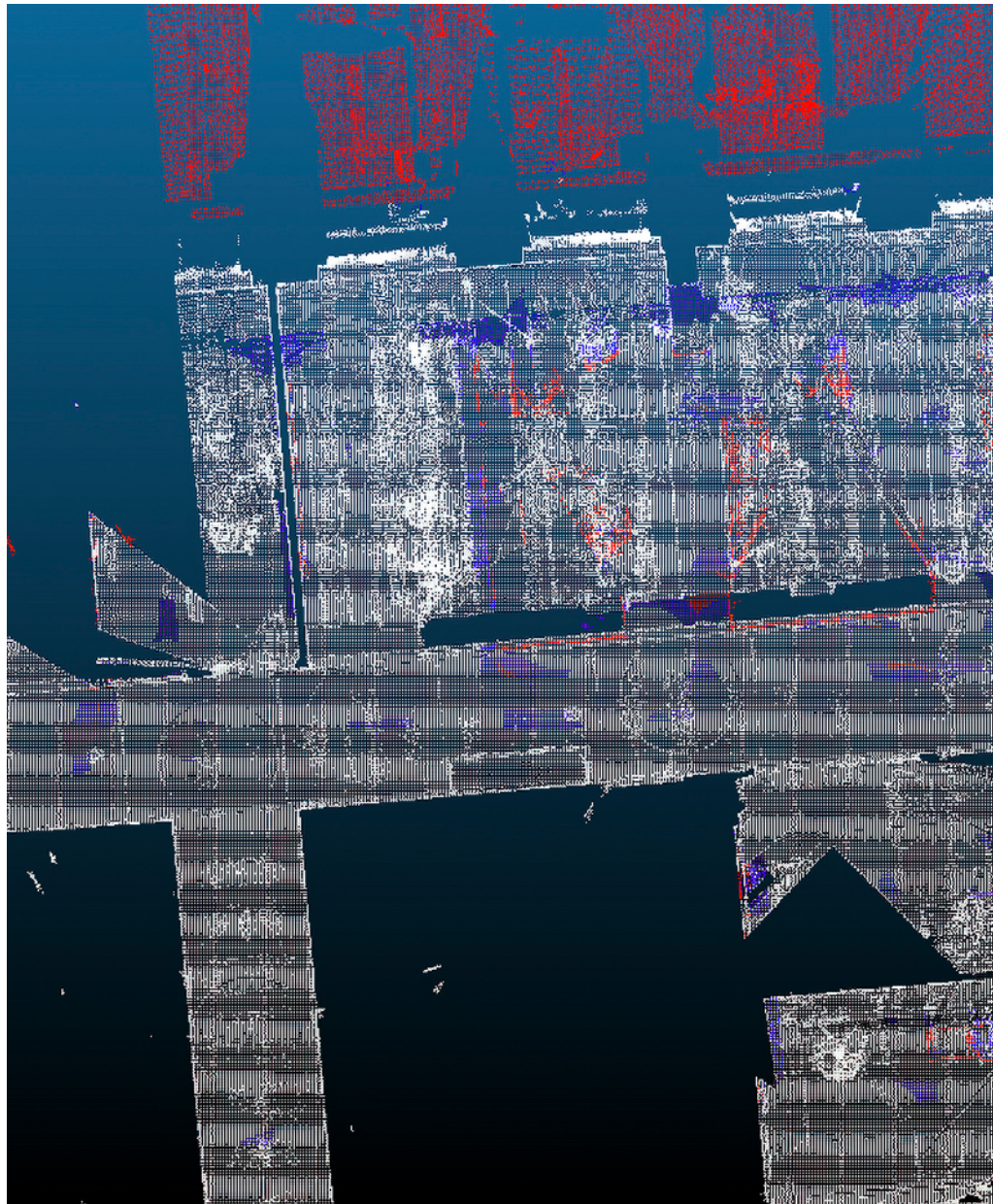
Miten totutut työmaarutiinit vaihtuvat ydin- ja säteilyturvallisuusrutiineiksi ydinlaitoksen käyttöönotto-vaiheessa?

### **Digitaaliset mallit käytöstäpoistossa**

Käytöstäpoiston turvallisuus paranee ja kustannukset laskevat, kun yhdistellään eri tarkoituksiin tehtyjä digitaalisia malleja.

### **Materiaalien mallinnuksen hyödyntäminen ydinlaitoksissa**

Fysikaalisia moniskaalamalleja ja tekoälyä voidaan hyödyntää ydinlaitosten materiaalien kehittämiseen ja niiden ominaisuuksien ymmärtämiseen.



**Julkaisija / Publisher**

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

**Johtokunta / Board****Puheenjohtaja / President**

DI Hanna Tynys  
puheenjohtaja@ats-fns.fi

**Varapuheenjohtaja / Vice President**

Prof., TkT Samuli Siltanen  
samuli.siltanen@helsinki.fi

**Sihteeri / Secretary General**

FM, DI Jenna Järvenpää  
sihteeri@ats-fns.fi

**Rahastonhoitaja / Treasurer**

DI Elina Syrjälähti  
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

**Jäsenet / Board Members**

Dos. Taina Kurki-Suonio  
taina.kurki-suonio@aalto.fi

TkT Antti Snicker  
antti.snicker@vtt.fi

DI Topi Tupasela  
topi.tupasela@stuk.fi

DI Janne Valkonen  
janne.valkonen@platom.fi

**Toimihenkilöt / Functionaries****ATS Young Generation**

Ins (AMK) Juuso Soikkeli  
juuso.soikkeli@konecranes.com

**Kansainvälisten asioiden sihteeri /  
International Affairs**

MSc Ana Jambrina  
ana.jambrina@vtt.fi

**Women in Nuclear Finland**

FM Jenna Levo  
jenna.levo@tvo.fi

**www-vastaava / Webmaster**

DI Teemu Sällylä  
webmaster@ats-fns.fi

**ATS-Seniorit / ATS-Seniors**

TkT Riitta Kyrki-Rajamäki  
rkyrki@gmail.com

**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 15600  
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 yhdysiteenä 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 pidättää itsellään oikeuden lyhentää, tiivistää ja muokata julkaistavaksi tarkoitettuja artikkeleja ja kirjoituksia.

# Mitä näkyy taustapeilissä?



**K**ALENTERIVUODEN LOPPUPUOLELLA on tapana peilailla päättyvän vuosikierron tapahtumia ja saavutuksia. Omalta kohdaltani voin todeta, että tapahtumia on ollut sopivassa tahdissa, joten aika ei ole tullut pitkäksi. Millään merkittävillä saavutuksilla en pääse kehumaan, mutta muistaakseni kaikki luvatut hommat on tulut hoidettua.

Maailman tasolla ei ole tullut mitään merkittäviä muutoksia vuoden 2024 aikana. Sodat Ukrainassa ja Lähi-Idässä jatkuvat raakoina ja järjettöminä, ja ilmastonmuutos etenee tuottaen ääri-ilmiöitä eri puolilla palloamme. Suomessa hallitus jatkaa ohjelmansa mukaista hyvinvointiyhteiskunnan alasajoa ja eriarvoisuuden kärjistämistä ja

yllätty, kun leikkauspäätöksillä on seuraamuksia. Kansantaloudessakaan ei näy pitkään odotettua käännettä.

Energia-alalla isot laivat kääntyvät hitaasti, joten vuoden aikana ei yleensä mitään muutosta nähdäkään. Suomen ydinvoimalaitosten normaali nykytila on jo vakiintunut viideksi käyväksi laitokseksi. Odotuskannalla ollaan sekä ydinjätteen loppusijoituslaitoksen käynnistymisen että lämmitysreaktorien rakentamisen osalta.

ATS:ssä tuli kuluneena vuonna varsin suuri muutos johtokunnassa, kun puheenjohtaja ja sihteeri olivat vaihtovuorossa. Seura on kuitenkin jatkanut häiriöttä kohti lähestyvää 60. merkkipäiväänsä vakiintuneilla toimintamuodoilla ja tapahtumilla.

Omaan napaan palatakseni viides vuosi ATS Ydintekniikan päätoimittajana tulee tämän lehden myötä täyteen. Tätä kirjoittaessa ei ole vielä tiedossa saanko siirrettyä viestikapulani eteenpäin, kuten lehden 1/2024 kirjoitukseni mukaisesti on tavoitteena. Totuus paljastuu lukijoille viimeistään numeron 1/2025 kolahtaessa keväällä postiluukkuihin.

Lopuksi toivottelen kaikille lukijoille onnellista uutta vuotta 2025!

**Jarmo Ala-Heikkilä**  
Vastaava päätoimittaja

## SISÄLTÖ

### Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Mitä näkyy taustapeilissä?	3
Pääkirjoitus: Osaaminen ja innovaatiot syntyvät tutkimuksen kautta	4
Editorial: Competence and innovations are born through research	5
Pakina: Menneisyyden vanki	27

### Tapahtumat

YJK-kurssi juhli 20-vuotista talkootaivalta	6
Jäsentapahtuma Raumalla 29.10.2024	8
European Nuclear Societyyn nuori sukupolvi koolla Olkiluodossa	10
ATS-Senioreille uusi kokoonkutsuja	12
<b>Ajankohtaista</b>	
Ollaanko valmiita, kun on valmista?	13

### Tiede ja tekniikka

DORADO-projekti tuottaa digitaalisia malleja käytöstäpoistoon	16
<i>Antti Rätty</i>	
SANE – ydinenergian tulevaisuuden käyttökohteet	19
<i>Ville Tulkki</i>	
Multiscale Modelling, Artificial Intelligence and Materials Informatics	22
<i>Javier Dominguez, Matti Lindroos, Stefanos Papanikolaou, Maria Oksa</i>	

# Osaaminen ja innovaatiot syntyvät tutkimuksen kautta

**I**STUESSANI SYKSYLLÄ AUTOSSA matkalla Abu Dhabista Dubaihin katselin Arabian niemimaan yllä kelluvaa täysikuuta, jonka ilmassa leijuva hiekka värjäsi punertavaksi. Auton täytti kollegoiden porina, jossa muisteltiin epäonnisia kokeiluja juoda intialaista hanavettä. Muistelin samalla omaa matkaani ydinvoimateollisuudesta sellu- ja paperiteollisuuteen ja lopulta takaisin ydinvoimatutkimuksen pariin.

Aloitin VTT:llä vuoden alussa. Sanotaan, että ydinvoimateollisuudessa kvartaali on 25 vuotta. Kuluneen vuoden aikana on kuitenkin ehtinyt tapahtua hämmästyttävän paljon. Ydinvoiman lisärakentamisen edellytyksiä selvittellen sekä Suomessa että maailmalla. Eikä vain selvittää, vaan uutta rakennetaan ja edistetään poliittisesti.

Kaupungit harkitsevat ydinkaukolämpöä vaihtoehtona polttamiseen perustuvalla lämmöntuotannolle. Laivanvarustajat pyytävät selvityksiä ydinenergian tarjoamista mahdollisuuksista merenkulun päästöjen hillitsemiseksi. Fuusiokentällekin pulpahtelee start-up-yrityksiä kunnianhimoisine suunnitelmineen.

Ydinvoiman rooli ilmastonmuutoksen hillitsemisessä on alettu tunnustaa. Ydinvoima on valmis, toimiva ratkaisu, jonka pohjalle on helppo rakentaa kestävä, toimitusvarma ja kustannustehokas energiajärjestelmä. Toki teknologiaa on kehittävä edelleen turvallisuuden ja taloudellisuuden parantamiseksi. Ympäröivä yhteiskunta ja muut teknologiat kehittyvät, ydinvoimateollisuus niiden mukana.

Harvat asiat kuitenkaan tapahtuvat itsesään. Teollisuuden toimintaedellytykset pitää turvata markkinoilla reiluin pelisäännöin ja pitämällä yhteiskunnan kokonaisuus mielessä. Uusien investointien vauhdittamiseksi on syytä harkita mekanismeja, jotka tekevät niihin liittyvät riskit hallittaviksi. Muuten investoinnit suuntautuvat markkinoille, joilla tällaisia mekanismeja on.

Ydinvoimateollisuudessa osaaminen nostetaan usein menestyksen kulmakiveksi. Suomessa on hieno tilanne, sillä meillä on tuoretta osaamista kaikista elinkaarvaiheista uuden laitoksen rakentamisesta ydinjätehuoltoon. Osaaminen kuitenkin sitoutuu huonosti seiniin eikä oikein kestä varastointia. Toivottavasti tätä osaamista ja tarvittavia kyvykkyyksiä onnistutaan ylläpitämään kotimaassa jatkossakin.

Erityisesti kokeellisen infrastruktuurin rahoituksen turvaaminen on tärkeää. Kirjoja lukemalla ja videoita katselemalla voi oppia asioita vain rajallisesti – syvällinen osaaminen vaatii aitoa tekemistä. Infrastruktuuria ei tarvita vain tutkimustarpeisiin. Sitä tarvitaan myös ydinturvallisuuden takaamisen ja suomalaisen ydinvoimateollisuuden huoltovarmuuden kannalta. Tämä korostuu, kun ydinvoiman osuus sähköntuotannosta on nykyisin yli 40%.

Alan pitää kyetä myös uudistumaan. Uusien teknologioiden kehittäminen ja käyttöön ottaminen vaatii tutkimus- ja kehitystyötä, kunnes ne ovat riittävän kypsiä kaupallistettaviksi. Tämäkään ei tapahdu itsestään, vaan vaatii pitkäjänteistä ja riittävää rahoitusta. Teollisuutta tarvitaan mukaan suunnittelemaan ja ohjaamaan työtä. Ketterämminkin voidaan joskus edetä etsimällä kaupallistamiseen sopiva tiimi ja hakemalla rahoitusta riskiä kaihtamattomilta pääomasijoittajilta, kuten tapahtui LDR-50-teknologian ja Steady Energy:n osalta.

Osaamisen perusta on meillä Suomessa vahva. Uusi laitos on saatu käyttöön, toimitukset ovat kunnossa ja satunnaisista lehtiotsikoista huolimatta laitokset toimivat turvallisesti ja varsin häiriöttömästi. Tutkimusreaktori



on poistettu käytöstä ja käytetyn polttoaineen loppusijoitus pääsee pian alkamaan. Innovoimisessakin on päästy hyvään alkuun. Ei päästetä tätä hienoa osaamista rapautumaan.

Ruotsalaiset kollegamme laativat tälläkin hetkellä suunnitelmia uuden ydinvoiman rakentamiseksi. Suomalaisen osaamisen ja kokemusten tarjoaminen maailmalle auttaa oman osaamisemme ylläpitämisessä, mutta toivottavasti naapurikin ymmärtää, että niiden hyödyntäminen myös vähentäisi hankkeiden riskejä lahden takana ja nopeuttaisi liikkeellelähtöä.

## FT Jani Halinen

Ydinenergia-tutkimusalueen johtaja  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
jani.halinen@vtt.fi

# Competence and innovations are born through research

**S**ITTING IN THE CAR ON MY WAY FROM Abu Dhabi to Dubai in the fall, I watched the full moon hanging over the Arabian Peninsula, tinted reddish by the sand floating in the air. The car was filled with the chatter of colleagues reminiscing about unfortunate attempts to drink Indian tap water. At the same time, I reflected on my journey from the nuclear industry to the pulp and paper industry and eventually back to nuclear research.

I started at VTT at the beginning of this year. It is said that in the nuclear industry, a quarter is 25 years. However, a lot has happened in the past year. The preconditions for nuclear new build are being explored both in Finland and globally. And not just explored, but also promoted politically.

Cities are considering nuclear district heating as an alternative to combustion-based heat production. Shipping companies are requesting studies on the possibilities offered by nuclear energy to reduce maritime emissions. Start-up companies with ambitious plans are also emerging in the fusion field.

The role of nuclear power in mitigating climate change is beginning to be recognized. It is a ready, functioning solution on which it is easy to build a sustainable, reliable, and cost-effective energy system. Of course, technology needs to be further developed to improve safety and economics. The society around us and other technologies are evolving, and the nuclear industry is evolving with them.

Few things happen by themselves. The operating conditions of the industry must be secured with fair market rules and keeping the overall benefit of society in mind. To accelerate new investments, it is worth considering mechanisms that make the associated risks manageable. Otherwise, investments

will be directed to markets where such mechanisms exist.

In the nuclear power industry, expertise is often raised as a cornerstone of success. Finland is in a great position, as we have fresh expertise in all phases of the life cycle, from building a new plant to nuclear waste management. However, expertise does not bind well to walls and does not store well. Hopefully, this expertise and the necessary capabilities can be maintained.

Securing funding for experimental infrastructure is particularly important. You can only learn so much from reading books and watching videos – deep expertise requires hands-on work. Infrastructure is needed not only for research needs. It is also needed to ensure nuclear safety and proper support for the Finnish nuclear industry and, therefore, for Finland's security of supply of electricity. This is particularly important now that the share of nuclear power in electricity production is over 40%.

The industry must also be able to renew itself. Developing and adopting new technologies requires research and development until they are mature enough to be commercialized. This does not happen by itself but requires long-term and sufficient funding. The industry's participation is essential to plan and guide the work. Sometimes we can proceed more agilely by finding a suitable team for commercialization and seeking funding from venture capitalists who are not afraid of risk, as happened with LDR-50 technology and Steady Energy.

The foundation of expertise in Finland is strong. A new plant has been put into operation, supply chains are in order, and despite occasional headlines, the plants operate safely and smoothly. The research reactor has been decommissioned, and the final disposal of spent fuel will soon begin. We have

also made a good start in innovation. Let's not allow this great expertise deteriorate.

Our Swedish colleagues are currently drawing up plans for nuclear new build. Offering Finnish expertise and experiences to the world helps maintain our own expertise, but hopefully, our neighbor understands that utilizing them would also reduce project risks across the gulf and speed up construction.

## **PhD Jani Halinen**

Vice President, Nuclear Energy  
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.  
jani.halinen@vtt.fi

# YJK-kurssi juhli 20-vuotista talkootaivalta

Ydinenergia-alan kansallisen talkoohengen ilmentymä Ydinturvallisuus- ja ydinjätehuoltokurssi YJK käynnistettiin 22 vuotta sitten. Tänä aikana on ehditty järjestää 20 kurssia, kun ensimmäinen vuosi meni kurssin suunnitteluun ja koronapandemia esti yhden kurssin järjestämisen. Tosin välivuosikin hyödynnettiin kurssin kehittämiseen. Kurssin ensimmäistä vuosikymmentä juhlustettiin aikanaan Dipolissa ja tänä syksynä oli aika juhlia toista dekadia.

**Teksti:** Jarmo Ala-Heikkilä, Sophie Haapalehto **Kuvat:** Jarmo Ala-Heikkilä

**S**YKSYN ENSIMMÄISESTÄ MYRSKYSTÄ piittaamatta noin 150 henkilöä koontui pimeään Töölönlahden rannalle Pikku-Finlandiaan juhlistamaan YJK-kurssin 20-vuotista taivalta. Selvennyksen vuoksi ajanlasku aloitetaan Ydinturvallisuus- eli YK-kurssista, jonka pitämisestä päätettiin syksyllä 2002 ja jota pidettiin yhteensä 14 kertaa. Viidenteentoista kurssiin yhdistettiin ydinjätehuollon kansallinen YJH-kurssi, jota oli järjestetty YK-kurssin rinnalla kuusi kertaa, ja siinä vaiheessa kurssi sai nykyisen nimensä ja YJK-lyhenteen.

20-vuotisjuhlalilaisuuden avasi YJK-suunnitteluryhmän puheenjohtaja professori Juhani Hyvärinen LUT-yliopistosta. Hän kertoi raamit YJK-20v-juhlalle: kymmenen ensimmäisen kurssin jälkeen pidettiin osallistujien

kokoontuminen Dipolissa, joten nyt tästä juhlasta tehtiin perinne.

Tähän juhla-iltaan oli siis pyritty kutsumaan osallistujat alkaen kurssista YK11 ja päättyen kurssiin YJK20, joka päättyi keväällä 2024, sekä YK-kurssien rinnalla pidettyjen kuuden YJH-kurssin osallistujat. Nykyisten tietosuojalakien ja työpaikanvaihdosten takia täyttä kattavuutta ei tietenkään voitu saavuttaa, mutta suunnitteluryhmä teki parhaansa. Yhteensä kutsuttavia olisi voinut olla noin 800.

## Juhlapuheita ilman(?) kiitoksia

Tilaisuuden avauksen jälkeen oli juhlapuhujien aika astua estradille. Hyvärinen oli ohjeistanut juhlapuhujia suuntaamaan puheensa sisältöä tulevaisuuteen. Ensimmäisenä puhujana

työ- ja elinkeinoministeriön teollisuusneuvos Juho Korteniemi painotti osaamisen ylläpitoa ja uusien osaajien tarvetta. Ministeriö yhteysviranomaisena tietää, että alalla on paljon tapahtumassa, joten myös TEM:llä on tarvetta henkilöstön YJK-kouluttamiseen.

STUKin pääjohtaja Petteri Tiippa kertoi, miten STUKin viranomaisena tarvitsee pysyä jatkuvasti mukana kehityksessä. On huomioitava uudet säännöt, uudet laitospäätökset kuten pienreaktorit, Posivan laitokset ja fuusiolaitokset sekä alan kansainvälistyminen.

TVO:n toimitusjohtaja Jarmo Tanhua korosti YJK:n ja Olkiluoto 3:n yhteistä taivalta. Kurssi käynnistettiin, kun OL3 oli saanut positiivisen periaatepäätöksen ja näköpiirissä oli merkittävä tarve uusille osaajille alan kaikissa organisaatioissa. OL3:n valmistuttuakin koulutustarve edelleen jatkuu.

Fortum Power and Heatin toimitusjohtaja Petra Lundström korosti myös YJK:n roolia uusien ihmisten vihkimisessä alalle. Fortuminkin ydinvoimahenkilöstöstä suuri osa on suorittanut YJK:n ja jonossa on jo osallistujia vuonna 2025-26 pidettävälle kurssille. Lundström myös ennakoiti, että uusia ydinvoimahankkeita on tulossa, joten kurssilla on kysyntää jatkossakin. Jatkossa joudutaan pohtimaan kurssin kielivalintaa, kun alalle värvätään asiantuntijoita kansainvälisiltä vesiltä.

Juhlapuheissa mainittiin myös YJK-kurssin myyntipotentiaali ja kansainvälinen kiinnostus kurssia kohtaan. Kurssi on myös omalla tavallaan kansainvälisesti ainutlaatuisen, kun kurssia on vuosittain suunnittelemassa edustajia



**TkT Jarmo Ala-Heikkilä**  
ATS Ydintekniikan päätoimittaja  
Aalto-yliopisto  
jarmo.ala-heikkila@aalto.fi



**FM Sophie Haapalehto**  
ATS Ydintekniikan toimittaja  
Posiva Oy  
sophie.haapalehto@posiva.fi

sekä voimayhtiöistä, viranomaisilta että tutkimuslaitoksista ja insinööritoimistoista.

### Muisteluita ja tietokilpailu

Juhani Hyvärinen haastatteli YJK-kursseille osallistuneita Jaakko Kuopanporttia ja Henri Matilaista, joista Jaakko oli käynyt kurssin ennen pandemiaa, jolloin kurssi oli kokonaisuudessaan lähiopetusta, ja Henrillä oli kokemusta nykyisestä hybriditoteutuksesta. Kurssin laajuus on pysynyt 23 päivässä, jotka on jaettu kuuteen jaksoon lokakuusta maaliskuulle. Nykyisellään 10 päivää on kuitenkin itseopiskelua muun muassa blogien ja videoluentojen muodossa ja 13 päivää perinteistä opetusta eri ydinenergiapaikkakunnilla.

Kurssin sisällön laajuus sai molemmilta haastateltavilta kiitosta. Myös ydinenergia-alan eri toimijoiden luona tehdyt kiertokäynnit, jotka on edelleen pidetty lähijaksojen keskeisenä sisältönä, sekä verkostoituminen oman organisaation ulkopuolella toimivien ihmisten kanssa ovat YJK:n tärkeintä antia. Kysymykseen kertauskurssin tarpeesta Jaakko vastasi myöntävästi.



*LUT-yliopiston ydintekniikan professori Juhani Hyvärinen, joka juonsi juhlallisella tilaisuudella YJK-kurssin suunnitteluryhmän puheenjohtajana eli "YJK-rehtorina".*

Puheiden ja haastattelun jälkeen Pikku-Finlandian keittiö tarjoi kolmen ruokalajin illallisen juomineen. Tarjoilut olivat maukkaita ja laadukkaita ja tarjoilu toimi erinomaisesti. Ennen jälkiruokaa oli ydinenergiapainotteinen Kahoot-visailu, jonka vetäjänä toimi YouTubesta tuttu jalkapallomaalivahti Lassi Hurskainen.

Visailuun osallistuttiin pöytäkunnittain, mutta kuitenkin niin että YJK-suunnitteluryhmän jäsenet jäävättiin. Kisa oli varsin tiukka ja johto vaihtui useaan kertaan, mutta lopulta visan voiton vei juhlapuhujien pöytä. Kokemus oli selkeästi valttia. Neljä parasta joukkuetta palkittiin YJK-mukeilla sekä YJK-kahvilla.

Kirjoittajat kiittävät kaikkia oikein onnistuneesta illasta. Kirjoittajista Sophie pääsi muuttamaan tunnin ajan palaamaan niihin samoihin lämpimiin muistoihin ja tunnelmiin, joita sai itse kokea YJK18-kurssin aikana hyvine seuroineen ja paluumatkoineen yömyöhään nuokuvassa bussiseurassa. Jarmo on puolestaan pysytellyt tunnelmissa jo YK-kurssin perustamiskokouksesta lähtien, suunnitteluryhmän jäsenen, luennoitsijan ja YK11-osallistujan rooleissa.

*Tarkempia kuvauksia YJK-kurssista on ainakin seuraavissa ATS Ydintekniikan numeroissa: 1/2006, 3/2017, 1/2022 ja 2/2024.*



*YJK-suunnitteluryhmän jäsenet jäävättiin tietokilpailusta, joten he jännittivät kisatilanteen kehitystä salin sivustalla.*



*YJK-20v-tietokilpailun voittajajoukkue "Ydinsuomi" pitämässä voittopuhetta.*

# Jäsentapahtuma Raumalla 29.10.2024

ATS järjestää jäsentapahtumia useamman kerran vuodessa. Tällä kertaa loppusyksyn ohjelmana oli jäsenoiveiden pohjalta järjestetty illallistapahtuma Länsi-Suomessa.

**Teksti:** Taina Kurki-Suonio, Topi Tupasela, Antti Snicker **Kuvat:** Antti Snicker

**A**TS:N JOHTOKUNTA PYYTÄÄ jäsenistöltään säännöllisin välein suoraa palautetta sekä ehdotuksia tuleviin tapahtumiin ja toimintaan. Yksi palautteessa säännöllisesti esitetyistä toiveista on tasapuolistaa tapahtumien maantieteellistä sijaintia – asuun suuri osa jäsenistöstä suhteellisen kaukana pääkaupunkiseudusta, jonne tapahtumat ovat keskittyneet.

Tänä syksynä johtokunta päätti järjestää tapahtuman erityisesti Länsi-Suomen jäsenistöä silmällä pitäen. Ajatuksena oli järjestää illallistapahtuma, jossa olisi kuitenkin seuran toiminnan mukaisesti myös teknisiä esityksiä.

Näinpä pimeänä tiistai-iltana vajaa 20 innokasta jäsentä kokoontui Etappi\*22\* ravintolan edustalle. Heti tuloaulassa tulijan vastaanotti keskustelu, joka pyöri vaihtuvien aiheiden ympärillä: syksyn pimeydestä työhaasteiden kautta aina meriselitys-termiin selitykseen saakka.

## Hengen ravintoa kokoustilassa

Keskustelun konvergoitua hivenen nautimme alkujuomaksi proseccoa ja siirryimme kokoustiloihin. Tilaisuuden avasi johtokunnasta tapahtumavastaava Antti Snicker kertoen ATS:n tulevista tapahtumista sekä

tuoden johtokunnan tervehdyksen Länsi-Suomeen.

Varsinaisen teknisemmän osuuden avasi Claire Chassagnette. Aiheena oli esittely Chambre de Commerce Franco-Finlandaise -yhdistyksen toiminnasta. Yhdistys järjestää jäsenilleen verkostoitumistilaisuuksia samalla tavoin kuin ATS. Heillä on meneillään myös seminaarisarja energiasta, jonka ensimmäinen osa pidettiin aiemmin syyskuussa.

Tilaisuudessa esiintyi tuttuja ATS-jäseniä muun muassa SMR-puolelta ja sitä moderoi Energiategollisuus ry. Claire esitti tulevaisuuden mahdollisuutena tehdä tiiviimpää yhteistyötä myös ATS:n kanssa, onhan meillä monilla suhteita ranskalaisiin yrityksiin muun muassa Olkiluoto 3:n kautta.

Raikuvien aplodien ja muutamien kysymysten jälkeen oli aika vaihtaa puhujaa. Seuraavaksi lavalle astui Risto Juvonen, joka johtokunnan tapahtumailmoituksen vastaisesti työskentelee Hidexillä eikä Pagodella. Pagode on ATS:n uusimpia kannatusjäseniä, mutta Hidexin yhteys Pagodeen ei ollut tullut aiemmin esille. Esityksen aikana tämäkin asia selventyi kristallinkirkkaaksi – aivan kuten moni muukin asia.

Erityisen ilmeiseksi kävi se, että Hidexin kehittämät nestetukeilmaisimet edustavat suomalaista huippuerityisosaamista, josta voi olla suomalaisena erittäin ylpeä. Oli mahdollista päästä kuulemaan yksityiskohtaisesti tarinaa tuikkeen tiimoilta. Esitys saikin aikaan mittavan keskustelun sivujuonineen.

## Ruumiin ravintoa buffetista

Koska tapahtumaan oli saapunut pieni, mutta sitäkin innokkaampi joukko, oli esitysten jälkeen vielä aikaa jokaisen osallistujan kertoa



**Dos. Taina Kurki-Suonio**  
Vanhempi lehtori  
Aalto-yliopisto  
taina.kurki-suonio@aalto.fi



**DI Topi Tupasela**  
Tarkastaja  
STUK  
topi.tupasela@stuk.fi



**TKT Antti Snicker**  
Vanhempi tutkija  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
antti.snicker@vtt.fi





*Claire Chassagnette avasi Ranskalais-suomalaisen kauppamariyhdistyksen toimintaa.*

*Hidexin Risto Juvonen avasi nestetuikeilmaisimien ihmeellistä maailmaa.*

muutama sananen siitä, missä on työskennellyt ja miksi on ATS:n toiminnassa mukana. Osoittautui välittömästi, että meillä on jäseniä hyvin monipuolisilla taustoilla. Samalla kuitenkin havaittiin, että ydinenergia-ala on varsin pieni ala, sillä tästäkin joukosta löytyi tuttuja kasvoja vuosikymmenten takaa pöydän molemmiin puolin.

Esittelykierron perään siirryttiin kerros alemmaksi nauttimaan ruumiin ravinnosta. Etappi\*22\*:n tarjoilut kruunasivat onnistuneen tapahtuman. Buffet oli suorastaan erinomaisen maistuva ja ruokaa olisi riittänyt useammallekin hengelle.

Tapahtumaan osallistuneet olivat ilmeisen tyytyväisiä ja lupasivat pitää huolen siitä, että ensi vuoden tapahtuman osallistujamäärä kasvaa. Ehkä näillä puheilla johtokunta sitoutuu järjestämään myös ensi vuonna tapahtuman Länsi-Suomessa, kun sellaiselle on selkeästi tilausta. Ensi vuonna sitten suurella joukolla mukaan!



*Etappi\*22\*:n tilat olivat täydelliset esitysten kuunteluun, ja enemmänkin kuulijoita olisi tilaan mahtunut.*

# European Nuclear Societyyn nuori sukupolvi koolla Olkiluodossa

Raumalla ja Olkiluodossa järjestettiin 6.–8.9.2024 European Nuclear Societyyn Young Generation Networkin Core Committee Meeting -tilaisuus (ENS-YGN CCM), joka kokosi noin 40 osallistujaa 14 eri maasta. Perjantaina ohjelmassa oli vierailu Olkiluodossa, jossa tutustuttiin vierailukeskukseen, OL3-turbiinisaliin sekä voimalaitosjäteluolaan. Lauantaina varsinainen kokous pidettiin Raumalla, ja ilta jatkui verkostoitumisen merkeissä saunan lämmössä sekä juhlatunnelmissa myöhään yöhön asti. Sunnuntaina osallistujille järjestettiin kulttuurikierros historiallisessa Vanhassa Raumassa. Suomen Atomiteknillistä Seuraa tapahtumassa edustivat ATS YG:n puheenjohtaja Juuso Soikkeli Konecranesilta sekä ATS YG -yhdyshenkilöt Simo Kettunen Fortumilta ja Pasi Antikainen TVO:lta.

**Teksti:** Simo Kettunen

**E**UROPEAN NUCLEAR SOCIETY (ENS) toimii eurooppalaisena kattojärjestönä kansallisille ydinalan järjestöille, ja Suomessa tätä roolia hoitaa Suomen Atomiteknillinen Seura (ATS). ATS:n tapaan



**DI Simo Kettunen**

Digitalisaatio- ja järjestelmäkehittäjä  
Fortum  
simo.x.kettunen@fortum.com

ENS:llä on oma nuorisoverkostonsa, European Nuclear Society Young Generation Network (ENS-YGN). Jokainen alle 38-vuotias ATS:n jäsen kuuluu ATS YG:hen ja sen myötä myös ENS-YGN:ään. ENS-YGN:n toimintaa ohjaa Core Committee, joka koostuu kansallisten järjestöjen edustajista, mukaan lukien Suomen ATS YG:n edustajat.

Core Committee kokoontuu kolme kertaa vuodessa eri maiden isännöimissä kokouksissa, joita kutsutaan CCM-kokouksiksi (Core Committee Meeting). Kokouspäivä on yleensä lauantai ja kokous kestää noin yhden työpäivän verran. Kokouksen yhteydessä perjantaisin järjestetään tekninen kierros esimerkiksi ydinvoimalaitokseen ja sunnuntaina tutustutaan kohdekaupungin kulttuuriin.

Vuoden 2024 kolmas kokous (CCM 3/2024) pidettiin Raumalla, ja tekninen kierros suuntautui Olkiluotoon. Seuraavana vuonna kokouk-

set järjestetään Brysselissä (CCM 1/2025), Zagrebissa (CCM 2/2025) ja Tukholmassa (CCM 3/2025). Suomesta CCM-kokouksiin on osallistunut tyypillisesti 1–3 edustajaa. CCM-kokoukset ja ENS-YGN-toiminta tarjoavat erinomaisen tilaisuuden vaikuttaa, jakaa ajatuksia ja oppia muilta alan nuorilta eri puolilta Eurooppaa. ENS-YGN:n toiminnasta voi lukea lisää verkoston internet-sivuilta<sup>1</sup>.

## Odotettu vierailu Olkiluodon voimalaitokselle

Perjantaina ohjelmassa oli tekninen kierros Olkiluodon voimalaitoksella. Päivä aloitettiin Olkiluodon vierailukeskuksessa, jossa TVO:n vierailupäällikkö Mika Tanhuanpää esitteli TVO:n ja Posivan toimintaa sekä Olkiluodon voimalaitosta ja ONKALO-loppusijoitustilaa. Erityisesti loppusijoituskonsepti kiinnosti kuulijoita.

Esityksen jälkeen osallistujat pääsivät tutustumiskierrokselle Olkiluoto 3:n turbiinisaliin, mitä monet olivat jo kovasti ennakkoon odottaneet. Tämän jälkeen oli vuorossa lounas, josta siirryttiin Olkiluodon voimalaitosjäteluolaan. Päivän loppuksi oli vielä aikaa tutustua vierailukeskuksen näyttelyyn. Ilta huipentui Raumalla rentoon yhdessäoloon pizzerian ja virvokkeiden parissa, minkä jälkeen rohkeimmat pääsivät näyttämään taitonsa karaokessa paikallisessa ravintolassa.

## Keskiössä katsaukset ensi vuoden tapahtumiin

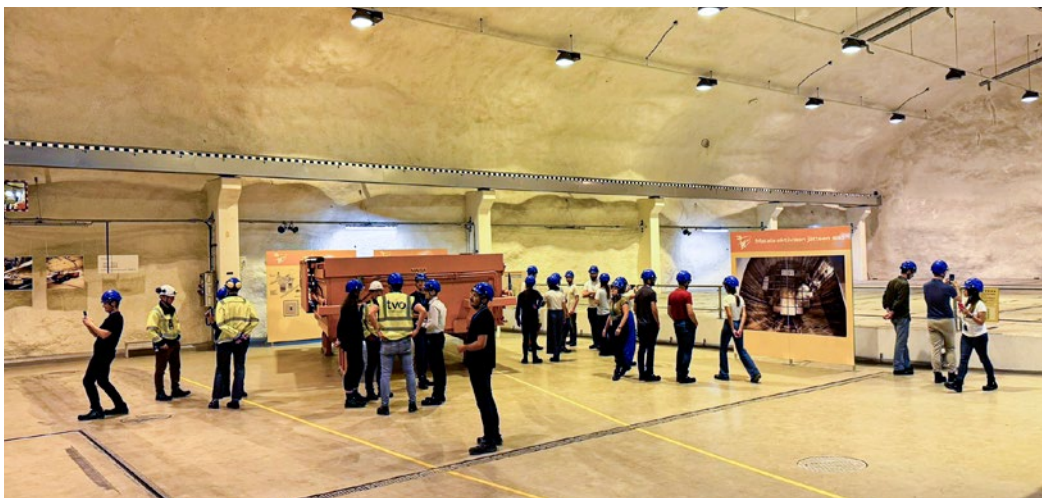
Lauantaina osallistujat kokoontuivat Hotelli Kalliohovin kokoustiloihin. Mukana oli noin 30 paikan päälle saapuneen edustajan lisäksi vajaa kymmenen edustajaa virtuaalisesti Zoomin kautta. Päivän alkuun ENS-YGN:n hallitus kävi läpi ajankohtaisia asioita sekä avoimien edellisissä kokouksissa päätettyjen toimenpiteiden tilannetta.

Seuraavaksi vuorossa oli tilannekatsaus kesäkuussa 2025 järjestettävään European Nuclear Young Generation Forumiin (ENYGF) tapahtuman järjestelytoimikunnan edustajien puolesta. ENYGF on kahden vuoden välein järjestettävä ydinalan konferenssi erityisesti nuoremman sukupolven edustajille, ja se järjestetään ensi vuonna Zagrebissa, Kroatiaassa.

Luvassa on neljä päivää ydinalaan liittyviä esityksiä, paneelikeskusteluja sekä työpajoja verkostoitumista unohtamatta, minkä kruunaa viidentenä päivänä tekninen kierros Krškon ydinvoimalaitokselle. Vuoden 2025 tapahtu-

<sup>1</sup> ENS Young Generation Network, <https://www.ensygn.org/>

<sup>2</sup> European Nuclear Young Generation Forum, <https://enygf.org/>



*Teknisen vierailun osallistujat tutustumassa Olkiluodon voimalaitos-jäteluolaan (kuva: Juuso Soikkeli).*

man internet-sivut<sup>2</sup> ovat valmistuneet ja aikataulu konferenssijulkaisulle on määritetty. Järjestelytoimikunta esitti pyynnön erityisesti tapahtuman mahdollisten sponsorien sekä julkaisu- ja toimikunnan jäsenten löytämiseksi.

CCM:ssä maiden edustajat esittävät normaalisti tilannekatsauksen omien maiden ajankohtaisista asioista. Koska edellisestä CCM:stä oli aikaa vain hieman päälle kaksi kuukautta, ei kokoukseen osallistujilta normaalisti poiketen edellytetty tilannekatsausta.

Tästä huolimatta saatiin kuitenkin katsaukset muutamasta eri maasta. Esimerkiksi Espanjassa tehtiin päätös ydinvoiman alajosta viime vuoden puolella, mutta maassa on viime aikoina pyritty luomaan ydinvoimasta positiivista mielikuvaa muun muassa erilaisen tapahtumien avulla sekä kampanjoimalla ydinvoiman puolesta sosiaalisessa mediassa.

### **Pohdintaa strategia- ja sääntömuutoksista**

Ilmapäivällä siirryttiin strategiakeskustelujen pariin. Vaikka ENS-YGN:n toiminta onkin selkeästi ilmaistu sen sisäisissä ohjeissa, kaipaavat missio, visio ja arvot parempaa kuvaamista. Alustuksen jälkeen osallistujat jakautuivat pienryhmiin keskustelemaan miltä ENS-YGN:n pitäisi näyttää. Pienryhmien pohdintojen tulokset kerättiin kokoon ENS-YGN:n hallituksen jatkoyöstämistä varten.

Strategiakeskustelun ja pienryhmäpohdintojen jälkeen vuorossa oli sääntömuutosehdotusten läpikäynti ENS-YGN:n toimintaan liittyen. Vaikka suurin osa ehdotuksista olikin kosmeettisia muutoksia ja erilaisia selvennyksiä sääntöihin, muutosehdotus ENS-YGN:n hallituksen rakenteeseen ja rooleihin aiheutti pitkähkön keskustelun osallistujien parissa. Lopulta äänestyksen jälkeen enemmistö

asettui sääntömuutosten kannalle puoltaen ENS-YGN:n hallituksen aiempaa vapaampaa sisäistä roolijakoa.


Viimeisenä asialistalla oli vuoden 2025 kolmannen CCM-kokouksen tapahtumapaikan valinta. Ehdokkaina olivat Tukholma Ruotsista sekä Belgrad Serbiasta, joista myyntipuheet pitivät kyseisten maiden edustajat. Esitysten jälkeen päästiin äänestämään tapahtumapaikasta Tukholman ja Belgradin välillä. Äänestys oli erittäin tasainen, ja sen voitti kahden äänen erolla Tukholma.

### **Saunomista ja tutustuminen Vanhaan Raumaan**

Mikä olisikaan parempi tapa tutustuttaa kansainvälisiä vieraita suomalaisiin perinteisiin

kuin sauna? Virallisen kokouksen päätyttyä osallistujille oli varattuna saunatilat aivan kokoustilojen vierestä.

Ensimmäiset innokkaimmat aloittivat saunomisen jo heti saunan lämmitettyä kokouksen päättymisen jälkeen. Osalle saunojista suomalainen sauna oli uusi ja jännittävä kokemus, kun taas kokeneempien saunojen toimesta saatiin demonstraatioita erilaisista saunakulttuureista. Myöhemmin illalla hauskanpito ja verkostoituminen jatkuivat Rauman yöelämässä.

Vielä sunnuntaina ennen paluumatkaa innokkaimmat tutustuivat Unescon maailmanperintökohteeksi valittuun Vanhaan Raumaan, sen mielenkiintoiseen kaupunkikuvaan sekä alueen historiaan ATS YG:n puheenjohtajan opastuksella. 



*Perjantaina teknisen vierailun aikana kokoonnuttiin ryhmäkuvaa varten Olkiluodon vierailukeskuksella (kuva: Mika Tanhuanpää).*



## ATS-Senioreille uusi kokoonkutsuja

ATS-Seniorit kokoontuivat 30.10.2024 lounaalle Helsinkiin, missä suoritettiin juhlallinen kokoonkutsujan vaihto. Senioreita pitkään luotsannut Eero Patrakka päästettiin eläkkeelle ja Riitta Kyrki-Rajamäki aloitti. Asiantuntijaluennon piti dosentti Taina Kurki-Suonio Aalto-yliopistosta aiheenaan ”Taming the Cosmic Mustang”, missä hän kertoi fuusioenergian fysikaalisista reunaehdoista ja alalla viime vuosina saavutetuista ennätyksistä.

**Teksti:** Riitta Kyrki-Rajamäki **Kuva:** Markku Tiitinen



**Prof. emer., TKT Riitta Kyrki-Rajamäki**  
ATS-Seniorien kokoonkutsuja  
rkyrki@gmail.com

**A**TS-SENIORIT KOKOONTUIVAT 30.10.2024 vuoden ensimmäiselle lounaalleen Helsinkiin Lasipalatsiin noin 30 hengen voimin. Ensimmäisen nostettiin juhlallisen virallisesti maljat kokoonkutsujan vaihdolle: kiitollisina päästettiin Eero Patrakka eläkkeelle tästäkin hänen pitkään hoitamaastaan virasta ja Riitta Kyrki-Rajamäki aloitti. Onneksemme Eero jatkaa seniorien organisaation kuuluvassa pienessä koordinoitiryhmässä, jossa aloittavat myös Eija Karita Puska, Olli Nevander sekä kokoonkutsuja.

Päivän asiantuntijaluennon piti dosentti Taina Kurki-Suonio Aalto-yliopistosta aiheenaan ”Taming the Cosmic Mustang”. Hän perehdytti kuulijansa fuusioenergian tuoton

*ATS-Seniorien edellinen ja nykyinen kokoonkutsuja seisomassa pöydän päässä.*


fysikaalisiin reunaehtoihin auringossa ja maapallolla, sekä reunaehdot kiteyttäviin tunnuslukuihin, joilla fuusioenergian suorituskykyä voidaan arvioida.

Viime vuodet ovat olleet fuusiotutkimuksen juhlaa, kun useita mahdollistavina pidettyjä esteitä on ylitetty kunnan loikalla. Näiden huipennus oli vuoden 2021 lopussa, kun vihdoin saavutettiin tilanne, jossa plasma luovutti energiaa enemmän, kuin mitä se oli absorboinut. Kilpajuoksu fuusioenergian valjastamiseen on siten alkanut myös yksityisellä rahalla: massiivinen ITER-reaktori sekä yksityiset pienet, rajatunmat mutta ketterät laitteistot vievät kaikki meitä eteenpäin matkalla Terra Incognitassa. Esitys herätti vilkkaan keskustelun, sai runsaasti kehuja, ja tietenkin kysyttiin myös, vieläkö menee 50 vuotta – ken tietää.

Uusi kokoonkutsuja oli teettänyt jäsenistölle pienen kyselyn senioreiden toimintamuodoista. Kyselyyn vastasi 30 henkeä eli noin kolmasosa senioreista, osin eri henkilöt kuin syksyn lounaaseen osallistuneet.

Kyselyssä parhaan arvosanan 4,4/5 saavuttivat lounaat asiantuntijaluentoineen ja niitä jatketaan. Toiseksi suosituin oli kotimaan päiväretket 3,4/5, ja kevääksi onkin nyt suunnitteilla tutustumisretki Lappeenrantaan LUT-yliopiston ydintutkimuslaitteistoihin. Matkan varrelta voidaan ottaa lisää senioreita kyytiin. Kyselyn vapaassa osiossa tuli ilmi toive, että toiminnassa yritettäisiin huomioida myös pääkaupunkiseudun ulkopuolella asuvat seniorit.

Muiden toimintamuotojen, kuten senioreiden omien yön yli kestävien ekskursioiden sekä yhteistilaisuuksien YG:n kanssa, kannatus jäi noin arvosanaan 2/5. Toimikaamme siis aktiivisesti koko ATS:n ekskursioiden järjestämisessä ja niihin osallistumisessa. Yhteyksiä nuorten kanssa pidettiin joka tapauksessa hyvin tärkeinä ja muun muassa todettiin, että onhan jokainen koko ATS:n tilaisuus tällaista yhteistoimintaa.

Diplomitöiden esittelyä lounailla ehdotettiin. Kokoonkutsuja myös yllytti senioreita kirjoittamaan muisteluita alan töistään yhteiseen lehtemme nuortenkin luettaviksi. Nykytekniikalla jokaisella on oma sanelukoneensa puhelimesissa, vaivalloiseen kaksiosormitekniikkaan ei enää tarvitse tukeutua. Olisiko YG:llä uusia ajatuksia yhteistoimintaan? 

# Ollaanko valmiita, kun on valmista?

Uuden ydinlaitoksen käyttöönottoon kuuluu vaihe, jossa työmaarutiinit alkavat vaihtua ydinlaitoksen rutiineihin. Suomen laitoksilla tämä murros koettiin hiljattain Olkiluoto 3:lla, ja Posivalla se on ajankohtainen.

**Teksti:** Minttu Hietamäki **Kuvat:** Minttu Hietamäki (Posivalla otetut valokuvat)

**KUVITTEELLINEN TILANNE LAITOKSELLA:** Järjestelmien asennustyöt ja suurin osa käyttöönottokokeista ovat valmiit. Käyttöönotossa ilmenneitä ongelmakohtia ratkotaan kentällä ja muutostyöryhmissä. Rakennusvaihe on aikaa sitten päättynyt, mutta rakentajia ja maalareita liikkuu tiloissa edelleen kourallinen. Putkikannakkeita muokataan, läpivientejä avataan ja suljetaan, eristeitä samoin. Tuotannon aikaiseen organisaatioon kuuluva käyttö- ja kunnossapitohenkilöstö ottaa laitoksen arkea kuukausi kuukaudelta enemmän omaan hoitoonsa.

Laitokselle kuljetaan tällä hetkellä suoraan ulko-ovista työmaavarusteissa, mistä kertovat sepelit rappukäytävissä. Putkiston alta löytyy laatikollinen karamelleja – jonkin työryhmän jemma päivän piristykseksi. Vesipullot ovat yleinen työmaavaruste.

Siisteys on käytävillä kohtalainen, mutta prosessitiloista on vaikea löytää puhtaita alueita. Tarvikkeita ja osia on siellä täällä, ja on vaikea sanoa, missä työt ovat kesken ja mihin tavarat ovat unohtuneet. Monessa paikassa on vielä vähintään pieniä töitä menossa. Työmaan yhteydenpito hoidetaan soittamalla matkapuhelimella ulko-ovien läheisyydessä, jossa kuuluvutta riittää.

Säteilynsuojeluinsinööri on mietteisään. Ionisoiva säteily tulee osaksi laitoksen arkea tuotannon käynnistyessä, ehkäpä rei-

lun puolen vuoden tai vuoden kuluttua. Käynnistyspäivänä mikään ei sinänsä näkyvästi muutu. Siksikin tavat, joilla riskeiltä suojaudutaan, olisi oltava käytössä hyvissä ajoin ennakkoon, toimivina ja harjoiteltuina. Nykyisen työmaan arki on muututtava kohti ydinlaitoksen ja valvonta-alueen arkea.

Suunnittelutyössä puhutaan johtamisjärjestelmän ohjeiden voimaantulosta, kentällä nähdään joukko muuttuvia arjen rutiineja.

## Uudet rutiinit

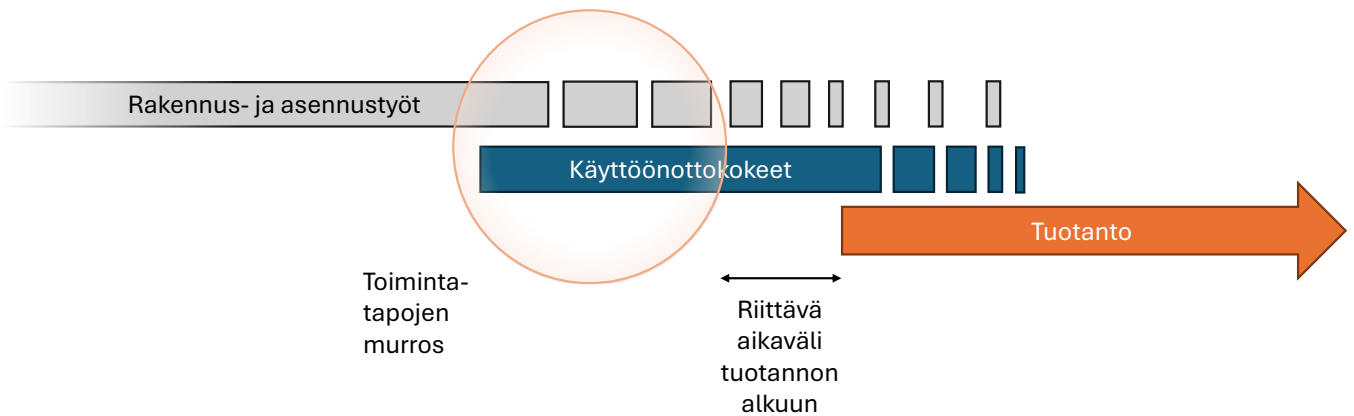
Näkyvin muutos laitoksen rutiineissa on valvonta-alueen rajaovien sulkeminen ja sen suojarusteiden käyttöönotto. Laitoksen keskeisimmille alueille kuljetaan vain pukuhuoneiden läpi. Pukuhuoneissa vaihdetaan ylle valkoinen suojahaalari, valvonta-alueen turvakengät ja kypärä. Korut, kellot, matkapuhelimet ja kaikki työn kannalta ylimääräinen jätetään pukuhuoneeseen. Syöminen, juominen ja nuuskaaminen poistuvat sallittujen listalta.

Ennen ionisoivan säteilyn ja radioaktiivisen kontaminaation esiintymistä otetaan käyttöön mittaukset niitä varten. Henkilöt alkavat kantaa dosimetrejä haalarin taskuissa, valvonta-alueelta ulos vietävä tavara mitataan ja alueelta poistutaan henkilömonitorien kautta.



**DI Minttu Hietamäki**  
Ydintekninen asiantuntija, STA  
Excore Oy  
minttu@excore.fi

## AJANKOHTAISTA



Säteilysuojelun lisäksi uusia toimintatapoja tulee työlupaprosessista, turvajärjestelyistä, irt-osien hallinnasta, palo-, kemikaali- ja tietoturvallisuudesta. Turvallisuuden ja omaisuuden suojaamisen näkökulmasta näistäkin monet tavat olisi syytä ottaa varhain käyttöön – osa jo rakennusvaiheessa.

Laitoksesta riippuen muutokset koskevat satoja tai tuhansia ihmisiä.



jäädessä alueen ulkopuolelle. Laitoksen loppusiivous ja siisteyden ylläpito mahdollistuu, vaikka töitä edelleen tehdään. Puhtaat tilat ovat tärkeässä asemassa sekä irt-osariskien että tulevan kontaminaationhallinnan kannalta.

### Kokemuksia harjoittelusta

Kun säteilysuojeluun liittyviä toimintatapoja on otettu käyttöön ydinlaitoksilla, on nähty esimerkkejä, jotka muistuttavat harjoituksen tärkeydestä.

Eräällä laitoksella valvonta-alueen suojavausteiden käyttöönoton jälkeen tavattiin henkilö valvonta-alueella alusvaatteissaan, toinen sukkasillaan reaktorirakennuksessa. Henkilöitä on tavattu myös valkoisissa varusteissa alueilla, joissa muiden tullessa keltakeissa vastaan huomataan virheen tapahtuneen. Tuotannon aikana tällaiset tapahtumat aiheuttaisivat jo enemmän selvittelyä ja riskejä.

### Henkilöstön näkemyksiä

Ydinlaitosten rakentamishankkeet ovat olleet pitkiä: samalla työmaalla on voitu tehdä projektityötä jopa kahden vuosikymmenen ajan. Tässä ajassa tavat juurtuvat.

Tuotannon ajan pysyvä henkilöstö on varautunut työskentelemään ydinlaitoksella ja saanut aiheesta runsaasti koulutusta. Toisaalta moni heistä on vailla aiempaa ydinalan kokemusta, joten uusien tapojen harjoittelu on tarpeellista ja usein mieluisaakin siirtymää kohti varsinaista työtä.

Käyttöönottoaiheessa vielä läsnä oleva projektihenkilöstö voi kokea, että uudet toimintatavat ainoastaan hidastavat asioiden viimeistelyä eivätkä tuo hyödyllistä oppia työn ollessa loppusuoralla. Toinen näkökulma on, että käyttöönoton avainhenkilöt usein jatkavat työskentelyä laitoksella tuotannon alkuvaiheessa järjestelmien teknisinä tukihenkilöinä. Heillä ei usein ole ydinteknistä taustaa, ja työmaalla on työskennelty vuosia. Heille uusien tapojen harjoittelu on erityisen tärkeää, ja se voi toimia myös ammatillisena askeleena. Työmaan arkea ajaa tehokkuus, ydinlaitoksen toimintaa turvallisuus.

### Suosituksia

On suositeltavaa, että laitoksen tuotantovaiheen rutiinit otetaan käyttöön hyvissä ajoin ennen riskien esiintymistä, jotta kaikki ehtivät niihin tottua. Myös omaisuuden turvaamisen kannalta monet toimintatavat ovat hyvä vaikutus jo ennen loppusuoraa.

Tuotannon aikaisten toimintaohjeiden voimaantumisen ajankohta olisi syytä määrittellä ylätason projektisuunnitelmissa, vähintään käyttöönotto-ohjelmassa. Näin

kaikki käyttöönottoaiheeseen osallistuvat työryhmät olisivat varautuneita tuleviin muutoksiin.

### Lopputulos

Kun ydinlaitoksen rutiinit ovat tuttu osa arkea tuotannon alkaessa, voidaan antaa täysi huomio käynnistyvään tuotantoon. Seuraavan Suomessa käynnistyvän ydinlaitoksen, Posivan kapseloin- ti- ja loppusijoituslaitoksen tapauksessa se tuo mukanaan

esimerkiksi käytetyn polttoaineen siirtoja ilmassa ensi kertaa, polttoaineen kuivausta, voimakasta neutronisäteilyä, työskentelyä kai- vosta vastaavissa olosuhteissa sekä ainutlaatuisia ja autonomisesti liikkuvia tuotantolaitteita.



# DORADO-projekti tuottaa digitaalisia malleja käytöstäpoistoon

Antti Rätty  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Kolmivuotinen Euratom-projekti DORADO (Digital twins and Ontology for Robot Assisted Decommissioning Operations) aloitettiin syyskuussa 2024 [1]. Projektissa kehitetään digitaalisia malleja ydinlaitosten käytöstäpoiston tueksi. Nopeasti kehittyvällä alalla kuitenkin hyödynnetään muiltakin toimialoilta saatuja kokemuksia.

A three-year Euratom-funded project DORADO (Digital twins and Ontology for Robot Assisted Decommissioning Operations) was started in September 2024. The project develops digital models to support nuclear decommissioning. However, in the rapidly developing industry, experiences gained from other fields of industry are also utilized.

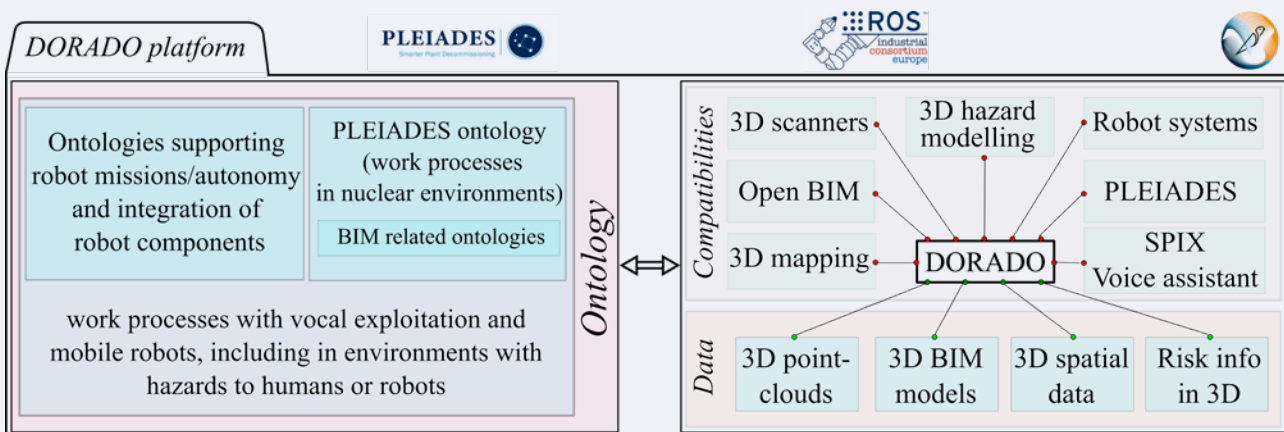
Ydinlaitosten käytöstäpoistoa tehdään nykyään vielä hyvin perinteisillä menetelmillä, joita kehittämällä on potentiaalia sekä turvallisuuden parantamiseen että kustannussäästöihin. Esimerkiksi pintakontaminaatiomittaukset, tiedonhallinta rakenteista, purkumenetelmien suunnittelu, työntekijöiden on-site-ohjeistus ja erityisesti etähallittavien laitteiden käyttöönotto tehdään kaikki toisistaan riippumattomasti ja useimmiten perinteisesti paperilla. Lisäksi ongelmana on erilaisen kerättävän datan yhteensopivuus keskenään ja sovellettavuus eri tarkoituksiin.

DORADO-projektissa kehitetään datanhallintaa muun muassa rakennusteollisuudesta tutuin työkaluin: rakennuksen tietomalli (building

information model, BIM) ja tekoäly (artificial intelligence, AI) antavat pohjan tulevaisuuden sovelluksille.

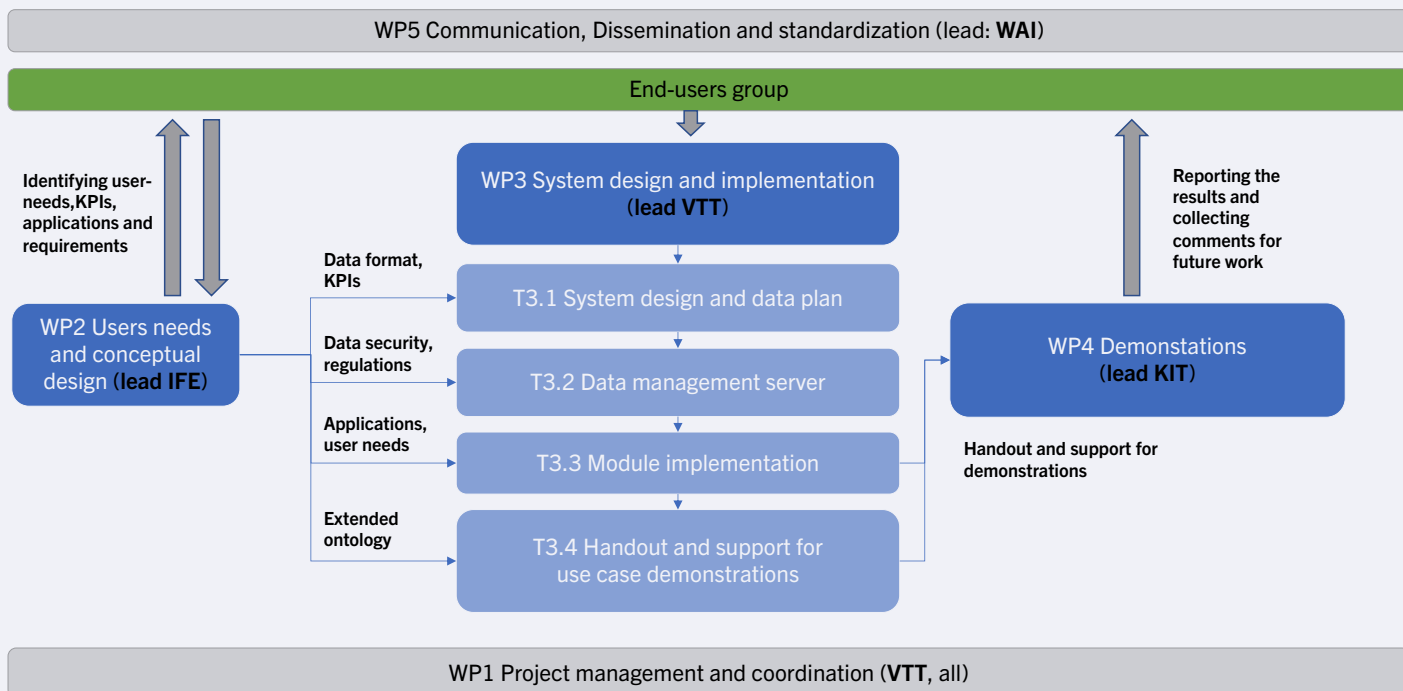
## Aiempi työ ja projektin vaiheistus

PLEIADES-projektissa (PPlatform based on Emerging and Interoperable Applications for enhanced Decommissioning process-ES) kehitettiin vuosina 2020-2023 ensimmäinen versio datamalleja hyödyntävästä alustasta, jolla voidaan yhdistää muun muassa pistepilvimallien geometria mitattuihin annosnopeuksiin ja objek-



Kuva 1. Aiempaa PLEIADES-projektin alustaa ja ontologiamäärittelyä laajennetaan kattamaan DORADO-projektin uudet teknologiat (kuva: DORADO-projektikonsortio).





Kuva 2. Kaavio projektin vaiheista työpaketteina (kuva: DORADO-projektikonsortio).

tunnistuksen kannalta välttämättömään ontologiamäärittelyyn. DORADO-projekti jatkaa saman alustan kehittämistä liittämällä siihen lisää teknisiä rajapintoja ja automatisoimalla datan soveltamista eri käyttökohteisiin (kuva 1).

VTT:n koordinoimassa DORADO-projektissa on kymmenen osallistuvaa organisaatiota ja lisäksi kaksi pienempää alihankkijaa. Mukana on erityisesti tutkimuskeskuksia (VTT, IFE, KIT, SCK, IRSN), mutta myös edustajia teollisuusyrityksistä (WAI, SPIX, iUS, Amphos21) ja yliopistomaailmasta (Unistra).

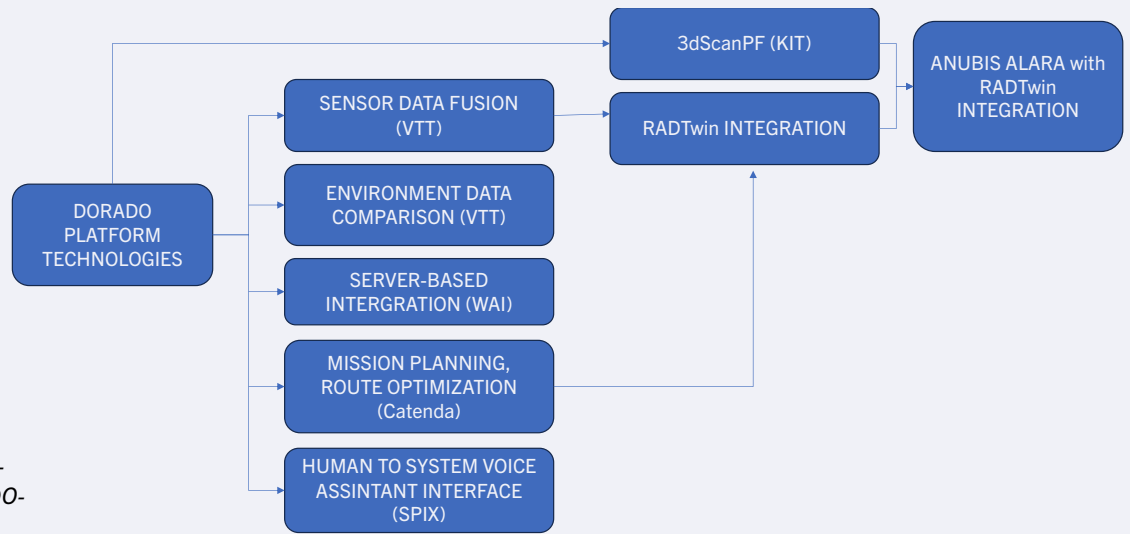
Projekti on jaettu viiden työpakettiin, joissa aluksi selvitetään sovelluskohteiden vaatimukset ja rajoitteet sekä loppukäyttäjien toiveet. Tämän jälkeen lähtötiedot jaetaan teknologiakehittäjille, jotka huolehtivat datan yhteensopivuudesta sekä alustan kanssa että eri teknologioiden välillä. Lopuksi kehitystyötä demonstroidaan oikeista (pysyvästi sammutetuista) ydinlaitoksista tehdyillä malleilla. Keskustelua loppukäyttäjien kanssa jatketaan kaikkien projektin eri vaiheiden ajan loppukäyttäjryhmän (end users group) kautta (kuva 2).

### Kehitettävät teknologiat ja demonstraatiot

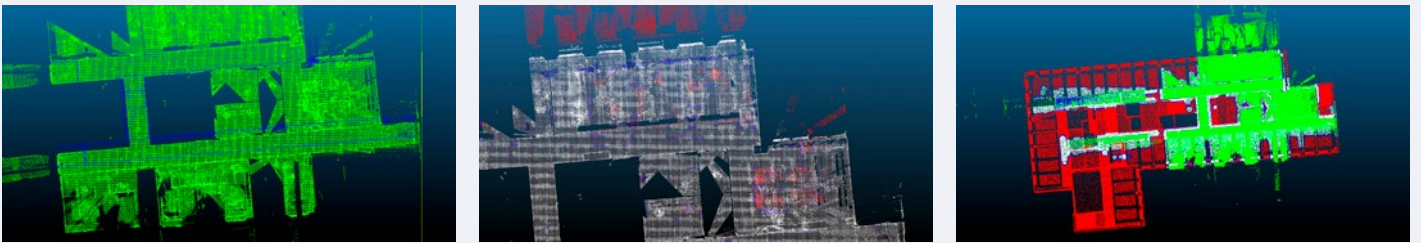
PLEIADES-projektin aiempi kehitystyö on välttämätöntä datan yhdistämiseen, mutta DORADO-projektin ydin on yhdistää serverialustaan uusia teknologioita sovelluskohteita. Vain näin saadaan aidosti demonstroitua holistisen mallin hyötyjä.

Projektiin on kerätty kahdeksan eri teknologian sovelluskohdetta:

1. Sensor data fusion with temporal dimension: Yhdistää esimerkiksi annosnopeusmittausten ja paineantureiden tuottamaa dataa yhtenäiseen malliin, jossa saadaan yhdistettyä tuloksia suoraan rakennuksen BIM-malliin ja myös seurattua vertailukelpoisia ajallisia trendejä.
2. Environment data comparison against BIM: Tavoitteena on yhdistää kerättyä dataa BIM-malliin sekä automatisoida sen siirtämistä mallin osaksi (muun muassa hahmontunnistus).
3. Point-cloud and 3D model change detection: Mahdollistaa peräkkäisten pistepilvimallien vertaamisen muutosten tunnistamisen.
4. Digital twins based ALARA dose estimation: Mahdollistaa työvaiheiden annosarvioinnin tehokkaasti BIM-mallin sisällä. Tehtävässä voidaan soveltaa osin olemassa olevien IFEn ja SCK:n kehittämiä VRDose- ja ALARA-ohjelmia, joiden käyttö yhdistetään DORADO-alustaan.
5. Server-based integration with IFC file format and extended data queries: Kehitetään PLEIADES-serverin toimintaa huomioimaan projektissa tarvittavat uudet rajapinnat ja tietoturva-vaatimukset sekä parannetaan yleisesti serverin käytettävyyttä.
6. Mission control, robot route optimization: Soveltaa BIM-mallia robottien ohjaamisen ja käskynjakoon rakennuksen sisällä.
7. Human to system smart voice assistant interface: Kehitetään kaksisuuntainen ääniopastus, jolla voidaan paitsi integroida työohjeita BIM-malliin, myös syöttää tietoja takaisin malliin (esimerkiksi laiterikot ja turvallisuushavainnot).
8. Standardization using the common ontology: Kehitetään ontologiamäärittelyä osaksi BIM-mallia IAEA:n INIS-tietokannan ja EC-JRC:n Nuclear-wikin kansainvälisten mallien avulla. Ontologia on välttämätön osa esimerkiksi hahmontunnistusta ja tekoälypohjaista päätöksentekoa.



Kuva 3. Kehitettäviä teknologi-  
sia sovelluksia (kuva: DORADO-  
projektikonsortio).



Kuva 4. Kuvassa esitetään sensoridatan (esitetty vihreällä värillä) liittämistä BIM-malliin (esitetty sinisellä värillä). Mallilla erotellaan puuttuvat osat auto-  
maattisesti (esitetty punaisella värillä), jolloin sitä voidaan käyttää esimerkiksi robotin tehtävnmäärittelyyn (kuva: DORADO-projektikonsortio).

Kehitystyön lopuksi teknologioita demonstroidaan suljettujen ydin-  
laitosten malleilla. Demonstraatioita on suunniteltu tehtävän ENRESAn  
(Santa Maria de Garona), IFEn (Haldenin tutkimusreaktori), VTT:n (FIR1-  
tutkimusreaktori) ja SCK CENin (ydinjätevarasto) laitoksilla. Koska  
DORADO-projektin tärkeimpiä osia on mallien yhteensopivuus, osa  
demonstraatioista toteutetaan yhdistäen erilaisia sovelluskohteita sa-  
maan BIM-malliin (kuva 4).

### Yhteenveto

BIM- ja AI-mallien kehitys on lukuisista sovelluskohteista johtuen no-  
peaa. DORADO-projektin etuna on aiempi pohjatyö, mutta maailma ei  
varmasti ole valmis kolmenkaan vuoden kuluttua. Yhteensopivuuden  
varmistaminen ja holistinen näkemys BIM-mallien rakentamiseen on  
joka tapauksessa tärkeää, jotta teknologiat päätyvät aikanaan myös  
todelliseen käyttöön.

DORADO-projekti on saanut rahoitusta Euratom-rahoitusauksessa  
HORIZON-EURATOM-2023-NRT-01, projektinumero #101165990.



### Kirjoittaja



#### FT Antti Rätty

Erikoistutkija, DORADO-projektin koordinaattori  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
antti.ratty@vtt.fi

# SANE – ydinenergian tulevaisuuden käyttökohteet

Ville Tulkki  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

SANE-projekti (Safety Assessment of Non-Electric uses of nuclear energy) tutkii ydinenergian muiden loppukäyttöjen kuin sähköntuotannon mahdollisuuksia, lämmöntuotantoon kehitettyjen reaktoreiden turvallisuutta sekä eri loppukäyttöjen turvallisuusvaikutuksia. Sidosryhmien tietotarpeita tutkitaan useassa maassa, ja Venäjän hyökkäyksen aiheuttamien ydinturvallisuuden liittyvien viestintätoimien vaikuttavuutta Ukrainassa selvitetään.

Safety Assessment of Non-Electric uses of nuclear energy (SANE) project investigates the potential of non-electric usage of nuclear energy, the safety aspects of reactors designed for non-electric use, as well as the safety implications of the end use. Information needs for appropriate risk communication is studied with case studies in several countries, and a specific study on communications during abnormal situations is done based on the events that transpired in Ukraine during Russia's invasion.

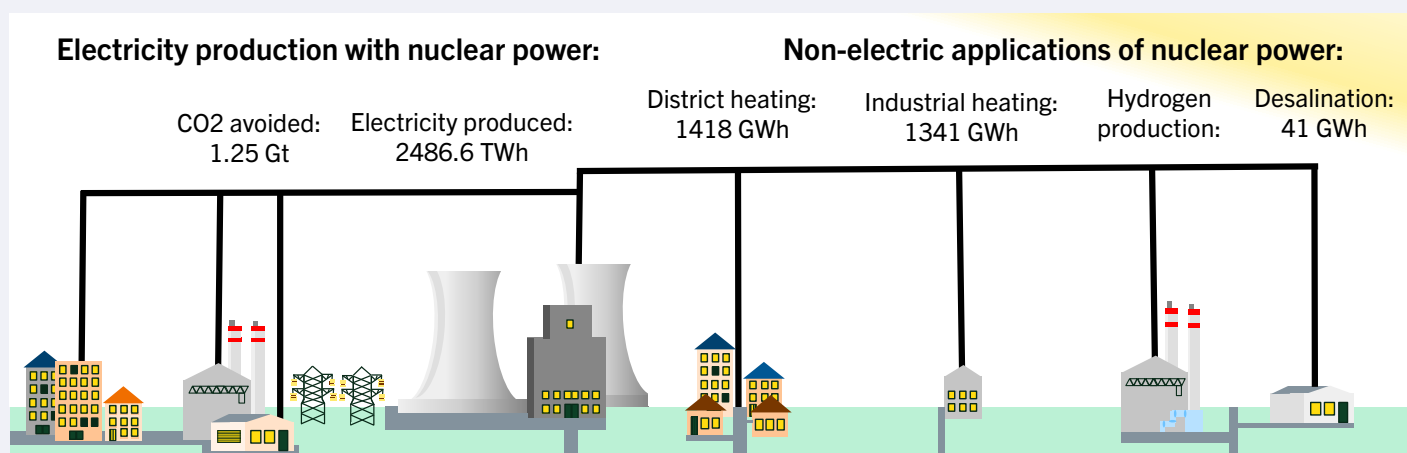
Ydinenergialla on jo pitkään tuotettu muitakin energiapalveluita kuin vain sähköä verkkoon, mutta nämä ovat olleet perinteisesti vain pieni osa pääosin sähköntuotantoon käytettyjen laitojen tuotannosta. Moni VVER-440-laitos tuottaa kaukolämpöä lähikyliin, Sveitsissä Gösengin laitokselta viedään höyryä läheiseen vaneritehtaaseen, joillakin laitoksilla tuotetaan laitoksen tarvitsema puhdas vesi tai vety omalla alueella ydinenergialla. Näitä loppukäyttöjä on havainnollistettu kuvassa 1, josta nähdään myös, miten sähköntuotanto on noin tuhatkertainen muihin käyttöihin verrattuna.

Jatkossa kuitenkin monissa perinteisissä isoissa laitoksissa pyritään hajauttamaan tulovirtaa useamman energiapalvelun tarjonnalla, ja monet

pienreaktorit tähtäävät paikalliseen energiantuotantoon. Ydinenergian käyttökohteiden laajennus on yksi eurooppalaisen pienreaktoriallianssia valmistelleen esiselvitystyön painopisteistä [1]. Tämä tuo uusia kysymyksiä niin turvallisuuteen kuin sidosryhmien tietotarpeisiin liittyen.

## Safety Assessment of Non-Electric uses of nuclear energy (SANE)

SANE-projekti tutkii ydinvoiman tulevaisuuden käyttökohteita. Se on VTT:n koordinoima yhdentoista osallistujan EU-rahoitteinen tutkimusprojekti, joka alkoi 1.9.2024 ja kestää kolme vuotta. EURATOM-



Kuva 1. Eri energiatuotteiden tuotanto nykyisin. Sähköntuotanto on noin tuhatkertainen muihin energiatuotteisiin verrattuna (kuva: Jussi-Pekka Ikonen).

tutkimusohjelman noin kolmen ja puolen miljoonan euron rahoituksen lisäksi sveitsiläistä osapuolta PSI:tä rahoittaa Sveitsin valtion SERI (Swiss State Secretariat for Education, Research and Innovation). SANEn tutkimusosapuolet on merkattu kartalle kuvassa 2.

SANE on jaettu neljään tekniseen työpakettiin. Ensimmäisessä PSI:n vetämässä työpaketissa selvitetään ydinenergian mahdollisia uusia käyttökohteita, ja ajatus on kartoittaa mahdollisia energiatarpeita, joita ydinreakteilla voitaisiin kestävästi täyttää. Toinen, VTT:n vastuulla oleva työpaketti keskittyy lämpöä tuottavan ydinlaitoksen turvallisuusnäkökohtien tarkasteluun, sekä yleisemmin että esimerkkilaitoksen mallinnustyon kautta.

Kolmannessa NRG:n vetämässä työpaketissa tarkastellaan eri loppukäyttäjien yhdistämistä ydinenergian tuotantoon. Neljäs työpaketti on KIT:n vastuulla, ja siinä tarkastellaan ydinenergian riskien viestintää erityisesti tilanteessa, jossa ydinlaitos tulee ihmisten ”takapihoille”. Teknisten työpakettien lisäksi SANEssa on työpaketit viestinnälle (vastuuorganisaationa CVR) sekä projektinhallinnalle.

### Ydinenergian tulevaisuuden mahdollisuudet...

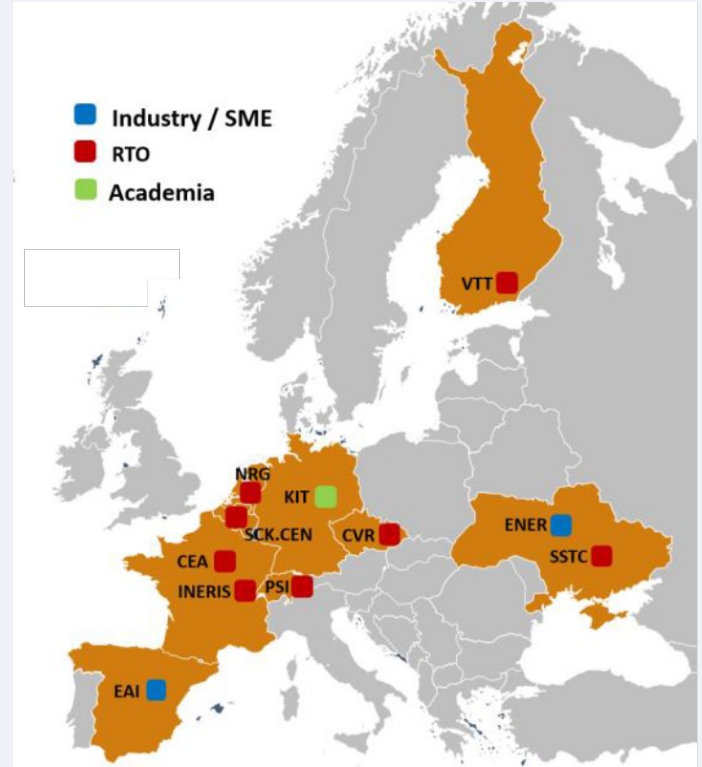
Ilmastotavoitteiden myötä monet teollisuuden toimijat haluavat löytää tapoja tuottaa tarvitsemansa energia vähäpäästöisesti. Monien prosessien vaatiessa jatkuvaa energiavirtaa, nähdään vain uusiutuvaan sähkön pohjautuvat ratkaisut haastavina, ja ydinenergiasta on tullut yksi mahdollinen tapa hajauttaa energian hankintaa. Tässä on nähtävissä hyvin suuria eroja eri maissa.

Siinä missä Yhdysvalloissa panostetaan innovaatioiden tukeen ja teknologianeutraaliin kehitykseen, Euroopassa väännetään poliittisesti vihreyden ja vähäpäästöisyyden regulaatiosta. Monissa maissa sähköverkko alkaa olla pullonkaulana uudelle teollisuudelle, ja paikallinen sähköntuotanto alkaa näyttää houkuttavalta vaihtoehdolta. Suomessa on puhuttu kotien lämmityksestä ydinenergialla, ja tämä ajattelu alkaa leviämään myös muualle Eurooppaan.

SANEn ensimmäisessä työpaketissa pyritään tarkastelemaan ydinenergian tulevaisuuden käyttömahdollisuuksia mahdollisimman laajalla skaalalla, lähinnä mahdollisten loppukäyttäjien energiantarpeiden näkökulmasta. Loppukäyttö sisältää niin kaukolämmön, vedyntuotannon, vedenpuhdistuksen, kasvihuoneet, datakeskukset ja teollisuuden energian kuin erikoisemmat käytöt kuten avaruusreaktorit ja ydinkäyttöiset laivat. Näistä kootaan kattava katsaus täydentämään aiempia kohteita.

### ...niiden haasteet...

SANEn toisessa ja kolmannessa työpaketissa keskitytään niihin turvallisuushaasteisiin, joita kohdataan siirryttäessä sähköntuotannosta



Kuva 2. SANE-projektin tutkimusosapuolet. EU-rahoitteisissa projekteissa pyritään kokoamaan konsortioita, joissa on mukana yliopistoja, teollisuutta, pieniä ja keskisuuria yrityksiä (SME = small and medium enterprises) sekä tutkimuslaitoksia ja viranomaisten teknisiä tukiorganisaatioita (RTO = research and technical support organizations).

muihin energiapalveluihin. Toisessa työpaketissa selvitetään yleisiä näkökulmia lämmöntuotantolaitoksen lisensointiin, sekä tehdään benchmark-harjoitus kaukolämpöreaktorin onnettomuusmallinnusketjusta. Tässä käytetään julkista LDR lite -reaktorimääritystä [2]. Se on yksinkertaistettu versio VTT-lähtöisestä LDR-kaukolämpöreaktorista, jota Steady Energy nyt kaupallistaa. Benchmark sekä tuo kaukolämpöreaktoria tutuksi kansainväliselle tutkimusyhteisölle että mahdollistaa mallinnustyökalujen ja -metodien soveltuvuuden arvioinnin tällaiseen ei-perinteiseen käyttökohteeseen.

Kolmas työpaketti ei niinkään keskity ydinreaktoriin vaan niiden yhdistämiseen mahdollisiin loppukäyttöihin. Mitä tulisi ottaa huomioon, jos ydinvoimalan viereen laitetaan korkean lämpötilan höyryelektrolyseri? Entä hiiliidioksidia ilmasta kaappaava Direct Air Capture (DAC) -laitos? Ja entä kun näiden laitosten tuotteet yhdistetään kerosiiniksi Fischer-Tropsch-laitoksessa? Vähemmän räjähdysalttiita loppukäyttöjä ovat vedenpuhdistamot tai kasvihuoneet, mutta niidenkin vaikutus turvallisuuteen halutaan varmistaa.

### ...ja ketä kiinnostaa?

Ilmastomuutoksen myötä ydinenergian käytön hyväksyttävyyden kasvanut kansainvälisesti. Mutta monet uudet käyttökohteet toisivat ydinlaitokset lähelle käyttökohdettaan, ja tällöin eri sidosryhmillä voi olla monenlaisia tietotarpeita. Siinä missä Suomessa puhutaan ydin-kaukolämmöstä, Belgiassa voisi tulla kyseeseen ydinlaitos sataman teollisuusalueella.

Nämä ovat jo konkreettisia esimerkkejä, joiden perusteella voidaan SANEn neljännessä työpaketissa lähteä keskustelemaan paljon syvemmän haasteista kuin vain ylätasoinen ydinenergian hyväksyttävyydestä. Toisaalta viime vuosien tapahtumat Venäjän hyökätessä Ukrainaan ovat tuoneet aseellisen uhan aivan uudella tavalla keskusteluun, ja projektissa kerätään ukrainalaisten kokemuksia ydinturvallisuuden viestinnästä sotatoimien alla.

Ydinenergia kiinnostaa, ja iso haaste on myös saatavilla olevan tiedon hajanaisuus. SANE pyrkii viestintätyöpaketissaan kertomaan sidosryhmille myös aihealueesta yleisesti, ei vain tutkimuksen tuloksista. Syyskuussa osana aloituskokousta pidettiin ensimmäinen julkinen webinaari, jossa projektin esittelyn lisäksi esiteltiin Helenin suunnitelmia ydinkaukolämmöstä, vedyntuotannon näkymiä sekä hiilidioksidin ilmasta kaappaamisen energiavaatimuksia.

SANE-projekti on käynnissä seuraavat kolme vuotta. Projektia voi seurata muun muassa LinkedInissä [3] tai www-sivuilta [4].

*SANEa rahoittaa Euratomin tutkimus- ja koulutusohjelma sekä sen PSI-osuutta Sveitsin valtion koulutus-, tutkimus- ja innovaatorahasto. Näkemykset ja mielipiteet ovat kirjoittajan eivätkä kuvasta rahoittajien kantoja.*



#### Project funded by



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Federal Department of Economic Affairs,  
Education and Research EAER  
**State Secretariat for Education,  
Research and Innovation SERI**

#### Viitteet

- [1] <https://www.nucleareurope.eu/project/european-smr-pre-partnership>
- [2] LDR lite benchmark: <https://www.ldr-reactor.fi/en/ldr-lite-benchmark>
- [3] <https://www.linkedin.com/company/sane-euratom-project>
- [4] <https://www.sane-euratom.eu/>

#### Kirjoittaja



**TkT Ville Tulkki**  
SMR Technology Lead  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
ville.tulkki@vtt.fi

# Multiscale Modelling, Artificial Intelligence and Materials Informatics

Javier Dominguez<sup>1</sup>, Matti Lindroos<sup>2</sup>, Stefanos Papanikolaou<sup>1</sup>, Maria Oksa<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>NOMATEN Centre of Excellence, <sup>2</sup>VTT Technical Research Centre of Finland

The NOMATEN Centre of Excellence (CoE) in collaboration with VTT and CEA, France, performs research and development on materials modelling for nuclear field. This article presents the focus areas, examples of latest work and benefits for the industry and research cooperation.

[NOMATEN-osaamiskeskus tekee yhteistyössä VTT:n ja CEA:n kanssa tutkimusta ja kehitystä ydinalan materiaalimallinnuksen alalla. Tässä artikkelissa esitellään painopistealueita, esimerkkejä viimeisimmästä kehitystyöstä sekä teollisuuden ja tutkimusyhteistyön hyötyjä.](#)

The NOMATEN CoE boasts the very top multiscale materials modelling team of Poland, driven by two very successful groups, those of Complex Systems (CS) led by Mikko Alava and Materials Informatics, Structure and Function (MASIF) led by Stefanos Papanikolaou (Figure 1). The CS group is composed of 4 senior researchers and 1 PhD student, and is focused on irradiation, glass and nanoindentation studies using alloy simulations at the molecular level. The MASIF group is focused on quantum/ab initio, molecular and macro scales, with a high expertise on materials informatics at the very frontiers of the field of materials science. The MASIF group is composed of 5 PhD students, 2 senior researchers and 1 expert computer scientist on artificial intelligence (AI) modelling.

The MASIF group is currently in the process of graduating with a PhD its first students, and the first one, Amirhossein Naghdi, already agreed to join University of British Columbia (2nd best university in Canada, and 39th in the world) as a postdoctoral fellow in May 2025, a major accomplishment of the NOMATEN CoE that strongly demonstrates the excellence of its program.

## Materials Informatics and Multiscale Modelling of irradiated EUROFER samples for EUROFUSION

At NOMATEN, our modelling teams have performed constitutive modelling of irradiated materials and finite element method simulations in order to explain experimental data produced at SCK CEN in Belgium. A research plan behind the EUROFUSION project includes a series of tasks.

First, the crystal plasticity model of Monnet, Vincent and Gelebart [1] was implemented in the finite element method (FEM) [2] setting, (see Figure 2a). The model is characterized by two plastic flow components, namely jog drag and friction, to explain the response of ir-

radiated material in a natural way (see also Figure 2a). It was originally built for reactor pressure vessel steels subjected to neutron irradiation and now it was applied to model the behaviour of irradiated EUROFER 97 steel.

The simulated stress-strain curves (before any parameter calibration) with different amount of radiation defects are shown in Figure 2b. For the fit of experimental data, we used materials informatics, by utilizing a genetic optimization approach (cf. [3]) whose scheme is visible in Figure 2c where we show the scheme of the evolutionary algorithm used for the optimization.

At the first step, experimentally obtained stress-strain curves measured at SCK CEN by tensile testing the neutron-irradiated materials inside a hot cell [4] were used for finding the simulated curves that match the test best. The algorithm seeks the values of parameters in a predefined range. In Figure 2d we show the mean and standard deviation of one of the 12 optimized model parameters in subsequent generations of the evolutionary optimization. Finally in Figure 2e, an example of the strain distributions obtained from tensile tests via digital image correlation based on the experiments conducted at SCK CEN is shown.

## Multiscale modelling of nanoindentation of complex alloys

In another study, we combined experimentally guided nanoindentation simulations with molecular dynamics to investigate the stress response of nickel-based high-entropy alloys. By focusing on dislocation dynamics and defect formation mechanisms — the movement of atomic-scale shifts within the crystal structure — we gained insight into how these alloys deform. Larger grain sizes in our samples allowed us to focus on intra-grain activity, minimizing the role of grain boundaries.

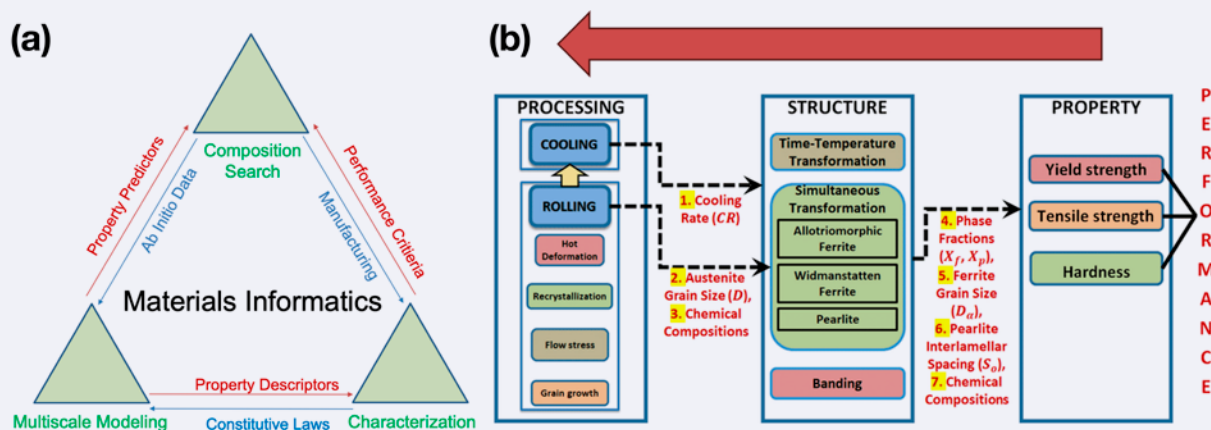


Figure 1. Materials informatics aim to develop materials' properties with enhanced time frame with advanced modelling tools in close cooperation with material characterization (graph: NCBJ).

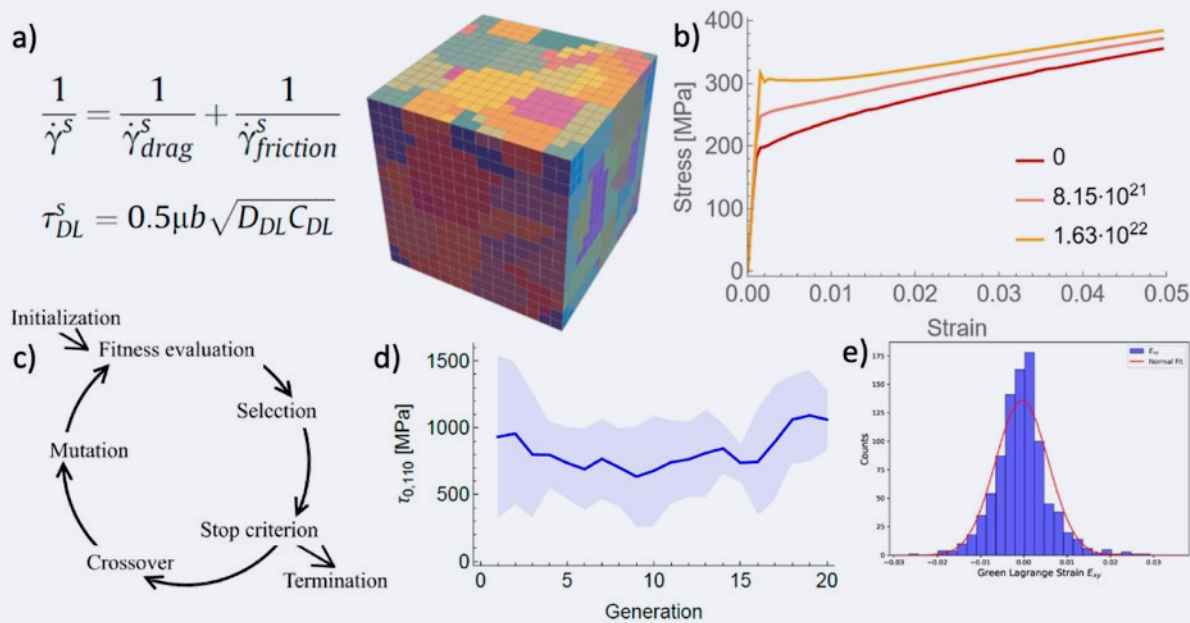


Figure 2. Constitutive modelling of irradiated materials and finite element method simulations to explain experimental data. a) Two plastic flow components (jog drag and friction) are used. The model directly accounts for strength increase due to interaction with irradiation-induced defects. b) The simulated mechanical response from the irradiated material with various amounts of irradiation defects (dislocation loops,  $1/m^3$ ). c) Use of materials informatics on the experimental data by utilizing a genetic optimization approach. d) The mean and standard deviation of one of the 12 optimized model parameters in subsequent generations of the evolutionary optimization. e) An example of the strain distributions obtained from tensile tests via digital image correlation (DIC) based on the experiments conducted at SCK CEN, Belgium.

We also explored how pre-existing defects, such as stacking fault tetrahedral and faulted loops, affect the material's strength and deformation. Through atomic-level mappings of shear strain and displacement, we revealed how complex alloys absorb and redistribute mechanical forces, contributing to their high-performance capabilities [5].

A key finding in our work is that specific nanoindentation protocols can induce local atomic reorganization, forming density-wave patterns under the indenter tip for complex alloys. These stress-in-

duced patterns, which are influenced by the alloy's unique chemical interactions, align with the plastic zone and are observable at practical depths [6].

Moreover, our multiscale approach integrates this atomic-level insight into a continuum plasticity model for five-element complex alloys. The inherent lattice disorder, due to a considered nearly equiatomic distribution of atoms, is captured by a single parameter that quantifies the contribution of non-crystallographic plasticity mechanisms, marking a departure from behaviour typical of conventional metals [7].

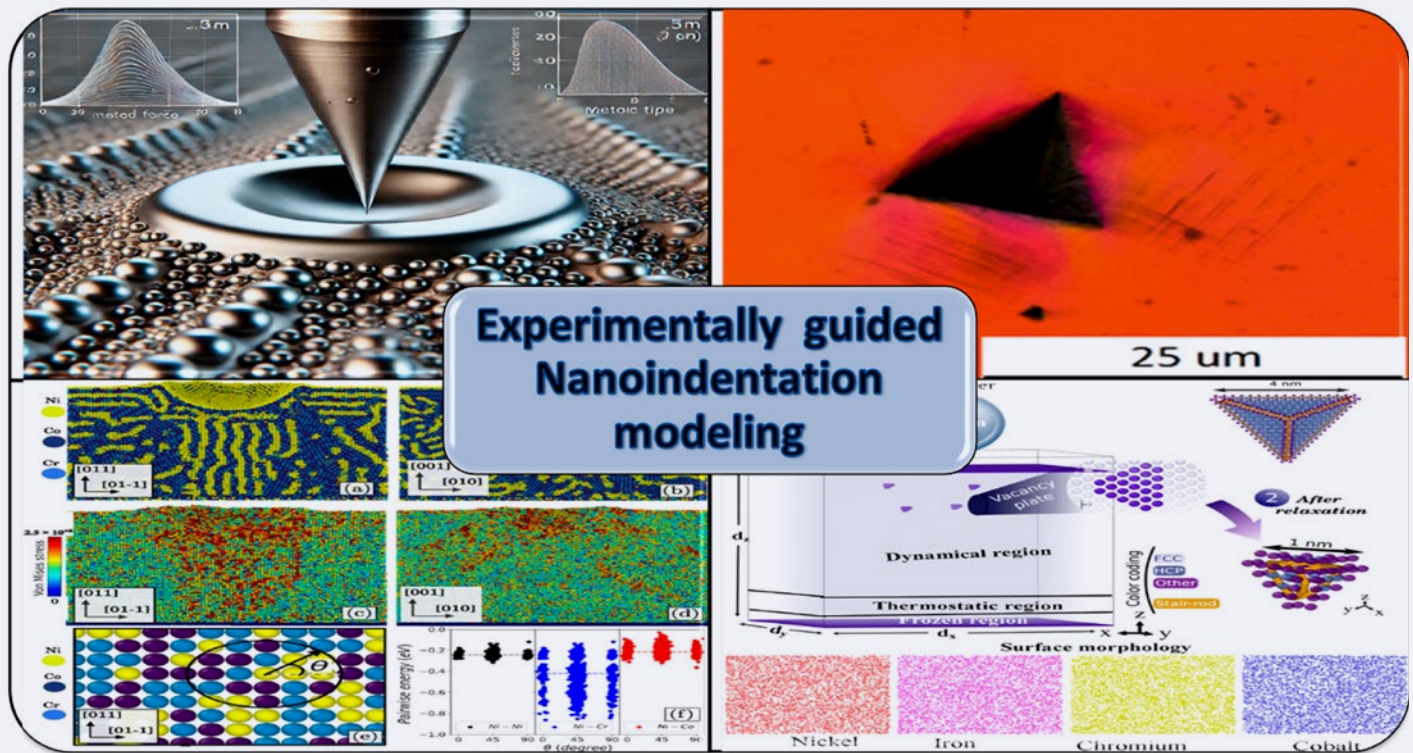


Figure 3. Experimentally guided atomistic nanoindentation simulations showing strong agreement with scanning electron microscopy images. A novel nano-indentation protocol reveals chemical ordering, and a multiscale approach is proposed to unravel the mechanical deformation mechanisms in complex alloys (graph: NCBJ).

This work has been done in direct collaboration between CS and MASIF groups with Dr hab. Stefanos Papanikolaou, Dr hab. Javier Dominguez, Dr Karol Frydrych, Dr Kamran Karimi, and PhD student Amirhossein Naghdi. We have published more than 80 papers in top scientific journals like Phys. Rev. Lett., Acta Materialia, and Materials & Design, as well as establishing several synergies with computational groups in Finland like the University of Helsinki, CNRS in France, and AGH University of Krakow in Poland, further enhancing our collaborative efforts with VTT’s modelling groups in multiscale simulations for materials design focusing on nuclear applications.

**Nanoindentation of irradiated materials**

The modelling of irradiation defect formation and their impact on mechanical properties is led by Dr hab. Javier Dominguez in NOMATEN CoE, as it is well established that neutron irradiation induces defects ranging from several nanometres to tens of nanometres. These defects can degrade the mechanical and structural properties of materials. In our work, we model the formation of 1D to 3D defects in complex alloys during irradiation at atomistic level by developing interatomic potentials to be as close as possible to neutron and ion irradiation conditions, providing new opportunities to investigate the plastic deformation mechanisms of irradiated materials using nano-indentation techniques.

Our atomistic simulations, mainly based on the molecular dynamics method, can model dislocation dynamics and evolution during irradiation at several irradiation doses, showing good agreement with exper-

imental electron microscopy images, validating the model (Figures 3 and 4). This research is conducted in collaboration with PhD student Amil Aligayev from MASIF-NOMATEN, CEA in France, University of Helsinki, and various Polish institutions, further expanding the scope of our work for pursuing a fruitful collaboration with VTT’s experimental and modelling groups.

**Multi-scale and multi-physics modelling of nuclear materials**

In general, to address complex Structure-Property-Performance, VTT utilizes multi-scale and multi-physics toolsets together with material informatics, which have been developed and utilized for several decades already (Figure 5). Methods with atomistic resolution, such as density functional theory (DFT), molecular dynamics (MD), dislocation dynamics (DD), phase field crystal (PFC), and kinetic Monte Carlo (KMC) methods are utilized to analyse irradiation effects and to determine changes in the microstructure and material behaviour while quantifying irradiation damage.

Since atomistic events operate at very fine length-scales, e.g., [Å] and [nm], scale bridging is required. Phase field models, machine learning assisted MD/KMC models, and newly developed atomistically informed field theory can provide necessary inputs for meso-scale crystal plasticity (CP) models that operate on the length-scale [nm – μm – mm]. The CP models and their predictions are capable of bringing together microstructure’s grain level information with irradiation defect populations, such as dislocation loops, solute clusters and



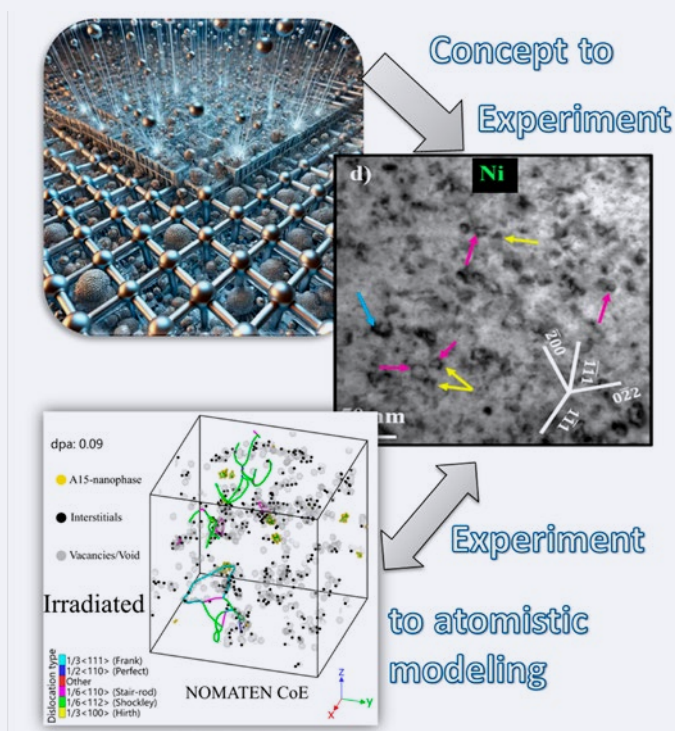


Figure 4. Experimentally guided atomistic simulations of irradiated materials showing strong agreement with transmission electron microscopy images (graph: NCBJ).

precipitates/carbides, that eventually influences material strength and failure/fracture behaviour. Especially CP level models are then used to simulate plastic deformation, creep behaviour, nucleation, and growth of cracks in the microstructure. In a full span methodology, engineering, and component level models in the length-scale of [m] can be informed by finer scale methods.

For example, estimation of lifetime of operation for reactor pressure vessel (RPV) steels is essential when prolonged operational life of existing reactors is targeted [7]. Numerical models and experiments from VTT and nuclear community are utilized to predict ductile-to-brittle transition temperature (DBTT) shift evaluating [8] the safe regime for usage of the RPV steels with increase amount of irradiation dose. Premature brittle failure may occur when the (DBTT) is shifted too close to the operational temperature of the reactor. Modelling tools offer a way to predict fracture susceptibility in irradiation conditions that are experimentally difficult to reproduce within reasonable timeframe. Hence, the integrated computational materials engineering tools – combining multi-scale modelling, experimental approaches and artificial intelligence and machine learning – are very valuable to address many aspects and challenges of the nuclear materials.

To enable comprehensive research on nuclear materials, VTT has different research teams working on specific scopes. These research teams combine experimental

and simulation efforts to enhance knowledge on existing materials and develop new material solutions. As one example, nuclear fuel performance calculations and analyses group key activities focuses integral fuel performance modelling with dedicated fuel performance codes in nominal and accident conditions, development of advanced methods for simulation and experimental testing of current and innovative nuclear fuels and engaging with experimental campaigns to collaborate in topical needs of current and emerging fuel designs.

The integral fuel performance modelling consists of developing own fuel performance module FINIX and code development activities with several other fuel performance codes. The development aims at improving existing engineering level correlations for current fuels as well as for new fuels in conventional and new operating conditions. New methods are being developed especially in the multiscale modelling front to take advantage of more physics-based modelling approaches for fuel behaviour estimations utilizing ICME tools. Also, development is carried out in the separate effect experimental testing of fuel materials as it has been found as a necessity.

To gain fundamental understanding of material behaviour and to validate model predictions, materials characterization and mechanical testing must be included in multi-scale and multi-physics framework, as depicted above. This lays down the foundation and trust for modelling approaches. For example, fracture mechanics team focuses on characterization of fracture and fatigue properties of materials and understanding the performance of cracked components. The team monitors NPP pressure vessel embrittlement using fracture mechanics in hot-cell facilities and provides also essential verification data for crystal plasticity level fracture predictions. The combined experimental and modelling data can therefore be applied on developing advanced

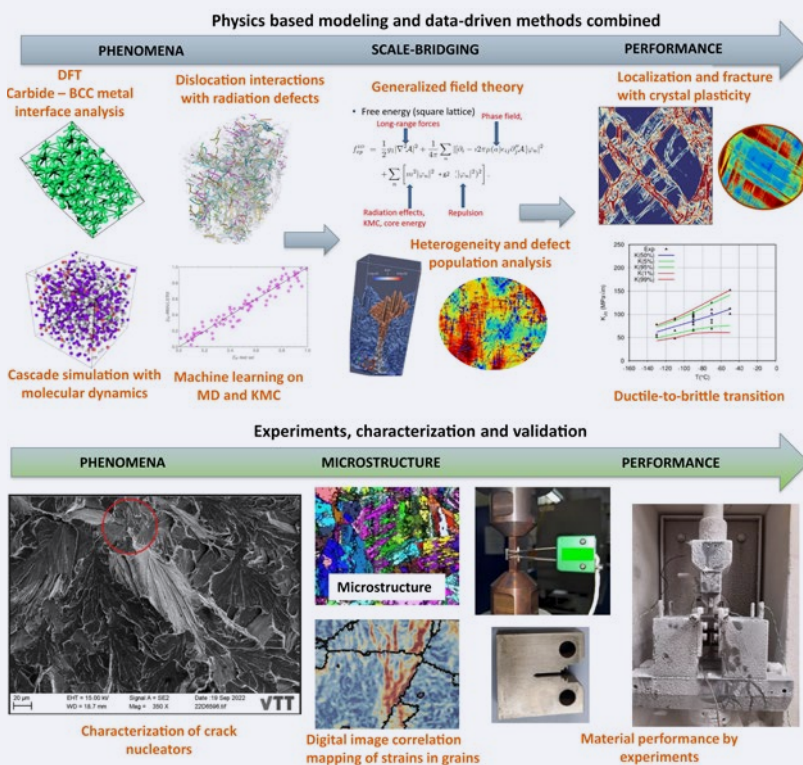


Figure 5. Examples of multi-scale and multi-physics toolsets together with material informatics to address complex Structure-Property-Performance material challenges (graph: VTT).

fracture and fatigue design rules. Since there is no room for error, one of the current research focuses is on more representative fracture toughness characterization techniques, which enables precise aging monitoring of pressurized components.

### Benefits of modelling and simulation on nuclear materials

Materials modelling supports and enhances experimental work on development and testing of materials used for nuclear applications. Simulation of irradiation effects on hardening of steels, modelling of irradiation defect formation and their impact on mechanical properties, and estimation of lifetime of operation for reactor pressure

vessel steels via predicting fracture susceptibility in irradiation conditions that are experimentally difficult to reproduce within a reasonable timeframe are examples of benefits to the nuclear materials community.

Key to success is in the collaboration of the nuclear community. The widespan co-operation of VTT and NOMATEN with many external collaborators has output new numerical and experimental methods to address the performance of existing in-use materials but also to develop new material solutions for future use, such as fusion applications. This offers state-of-the-art and versatile research methods for end-users in the energy sector.

---

### References

- [1] Monnet, G., Vincent, L. and Gelebart, L.: Multiscale modelling of crystal plasticity in Reactor Pressure Vessel steels: Prediction of irradiation hardening. *J. Nucl. Mater.*, 514, pp.128-138, 2019.
- [2] Frydrych, K. and Kowalczyk-Gajewska, K.: Grain refinement in the equal channel angular pressing process: simulations using the crystal plasticity finite element method. *Model. Simul. Mater. Sci. Eng.*, 26(6), p.065015, 2018.
- [3] Frydrych, K. and Papanikolaou, S., 2022. Unambiguous identification of crystal plasticity parameters from spherical indentation. *Crystals*, 12(10), p.1341.
- [4] Zinovev, A., Chang, C.C., Van Eyken, J., Gaganidze, E. and Terentyev, D., 2023. Effect of neutron irradiation to 0.7 dpa and 1.4 dpa on the tensile properties and fracture surface of EUROFER97 steel. *Journal of Nuclear Materials*, 587, p.154742.
- [5] F. J. Domínguez-Gutiérrez, A. Olejarz, M. Landeiro Dos Reis, E. Wyszowska, D. Kalita, W. Y. Huo, I. Jozwik, L. Kurpaska, S. Papanikolaou, M. J. Alava, K. Muszka. *Journal of Applied Physics* 135 (2024) 185101.
- [6] A. Naghdi, F. J. Domínguez-Gutiérrez, W. Y. Huo, K. Karimi, and S. Papanikolaou. *Physical Review Letters* 132 (2024) 116101[7] K. Frydrych, F.J. Dominguez-Gutierrez, M.J. Alava, S. Papanikolaou. *Mechanics of Materials* 181 (2023) 104644
- [7] M. Lindroos, G. Côrrea-Soares, A. Biswas, W. Karlsen, A. Freimanis, S. Ren, M. Serrano, A. Laukkanen. On the grain level deformation of BCC metals with crystal plasticity modeling: Application to an RPV steel and the effect of irradiation, *Materials Science and Engineering: A*, 914 (2024), 147121.
- [8] S.C. Ren, B. Marini, P. Forget. Modelling the effect of macro-segregation on the fracture toughness of heavy forgings using FFT based crystal plasticity simulations, *Engineering Fracture Mechanics*, 272 (2022), 108694.

---

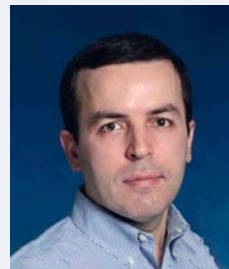
### Authors



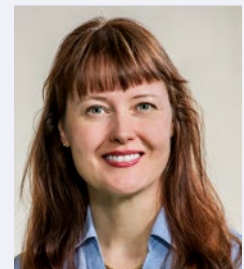
**D.Sc., Ph.D. Javier Dominguez**  
Associate Professor  
NOMATEN Centre of Excellence  
NCBJ National Centre for  
Nuclear Research  
javier.dominguez@ncbj.gov.pl



**D.Sc. (Tech.) Matti Lindroos**  
Senior Scientist  
VTT Technical Research Centre  
of Finland  
matti.lindroos@vtt.fi



**Dr hab Stefanos Papanikolaou**  
Associate Professor of Physics  
NOMATEN Centre of Excellence  
NCBJ National Centre for  
Nuclear Research  
stefanos.papanikolaou@ncbj.gov.pl



**D.Sc. (Tech.) Maria Oksa**  
Senior Scientist  
VTT Technical Research Centre  
of Finland  
maria.oksa@vtt.fi

# Menneisyyden vanki



**V**ANHENTUESSAAN IHMINEN KAIPAA enemmän ja enemmän menneisyyttä, myös sanomalehden kuivaa kahinaa aamiaisella ja käsiin jäävää painomustetta. Tihrustaessaan nettilehtiä puhelimen pieneltä näytöltä kaipaa oikeita otsikoita. Otsikoita, joista tunnisti asian ilman klikkausta lukematta kymmeniä rivejä itse juttua.

Lehden urheilusivuilla oli ennen reilua kilpailua, eikä ketään nöyryytetty. Muistini mukaan nuorten nöyryytys kouluissa ja ”boomerien” nöyryytys työpaikoilla oli harvinaista. Enkä haluaisi lukea, kuinka joku on ”räjäyttänyt” netin lausahduksellaan tai vähäpukaisilla kuvillaan. Ennen urheilijan hyvä ulkonäkö oli vain lisä, nyt se on usein ainoa onnistunut suoritus. Uudessa maailmassa ministerin suosioon tai johtajan uraan vaikuttaa enemmän muodikas pukeutuminen ja hyvä ulkomuoto kuin kyky tehdä jotain.

Ja tekoäly kykenee esittämään kenet tahansa videolla tai valokuvassa tilanteessa, jota ei koskaan tapahtunut. Tekoälyn yhdeksi heikoksi kohdaksi mainitaan kyvyttömyys epäillä annettuja sääntöjä. Väliällä tuntuu, että osalla ydininsinööreistä on sama ongelma. Onneksi Suomessa saa sanoa mielipiteensä. Naapurimaassa poliittisen mielipiteensä voi sanoa vain omassa keittiössään, ja vain jos huoneessa ei ole isoja ikkunoita.

Yhdysvaltojen presidentiksi tuli täydellisen tasapainoinen nero (hänen oma kuvauksensa). Hän yllytti kannattajansa kapinaan ja rakensi aikanaan New Yorkiin pilvenpiirtäjän. Rakennuksesta kuulemma puuttuu kerros kahdeksan, jotta kerroksien määrä vaikuttaisi suuremmalta. Tosielämän farssin myötä alkaa ymmärtää amerikkalaisen elokuvan maailmaa. Niissä tiedemies tai tiedenainen käyttäytyy yksityiselämässään kuin lapsi ja ottaa sankaruudessaan riskejä kuin nuori Mika Häkkinen autonsa ratissa.

**OMAN MAAMME** hallinnossa saamme usein seurata huvittavia ja surullisia näytelmiä. Jos joku päättäjät uhkaa lopettaa verora-

hojen jakelun jatkuvan kasvun, lehtien otsikot huutavat: perustuslain vastaista. Asiat pysähtyvät paikalleen ja julkisuudenkipeät ”asiantuntijat” tulkitsevat asiaa toisten puolesta. Kyllä se on perustuslain vastainen, vai onko, mene ja tiedä. Mutta olihan nimi ja naama hyvin esillä.

Kukaan ei esitä kysymystä: Entä sitten? Miksi kehityksen pitäisi pysähtyä? Kaipaen aikaa, jolloin perustuslaki oli vain kuvaus yhteisesti hyväksymistämme periaatteista. Mentäisiin eteenpäin ja hyväksyttäisiin muutos.

Joskus oli aika, jolloin päättäjät tekivät päätöksiä ja johtivat yhteiskunnan suuntaa. Jos päätökset menivät väärin, silloin voi aina sanoa ”saatanan tunarit” ja runnata uusia päätöksiä. Eihän Kekkonen ajan malliin juututtu. Presidentin valtaoikeuksia on muutettu useaan kertaan. Kyllä Suomi säilyy oikeusvaltiona, vaikka päätettäisiin ottaa vähemmän velkaa. Poliitiikan suuria ongelmia on se, että talouden viiden vuoden sykli on yli vaalikauden. Oikeat päätökset antavat tuoton vasta seuraavan hallituksen laariin.

Ennen Nokian kultavuosia Suomessa vallattiin yritysten nurkkia sekä taloja ja muutama lintuja ja hyttysiä täynnä oleva suo. Nyt kasvuyrityksemme fuusioituvat tai myydään kiinalaisille. Luonnonsuojelijat tunkevat metsistä likaamaan Mannerheimintien liikennettä ja eduskuntatalon pyhät pylvyät. Poliisi on muutenkin ylityöllistetty.



Edison haaveilee omasta sähköautosta.

Miksi elonapisijat eivät kerää rahaa ympäristön-suojeluun? Tai koskien luonnontilan palautukseen? Lohet ja raakat kiittäisivät.

**TÄMÄN LEHDEN** lukijat varmasti kaipaavat aikaa, jolloin sähköä sai töpseleistä ja ydinvoima mahtui ahtamatta sähköverkkoon. Mutta vihreä siirtymä on entistä todellisempaa ja ydinvoima on jäämässä jalkoihin. Tuulivoiman tuotannon keskiarvo on tänä vuonna ollut noin 1 800 MW eli neljännes mahdollisesta 7 200 MW:sta. Tuulituotannon maksimi kasvaa kovaa vauhtia. Niinpä ydinvoiman tuotantokapasiteetin rakentaminen ei kannata.

Atomikaukolämmön tekeminen tuskin auttaa asiaa. Kuitenkin Suomessa voi vielä rakentaa edes jotain. Monessa Euroopan maassa voimalaitosrakentamista hallitaan hyväksi havaitulla Banana-periaatteella: ”Build Absolute Nothing Anywhere Near Anything”.

Sähköisen valaistusjärjestelmän esittelyssä Pariisissä sähkönäyttelyssä vuonna 1881 ei nykyistä tilannetta osattu kuvitella. 150 vuotta myöhemmin sähköä käytetään hevosettomien kääryjen lataukseen kaikkialla Euroopassa. Tuulesta temmattu halpa sähkö näyttää nopeasti korvaavan saastuttavat, polttoon perustuvat energiamuodot.

1970-luvulla Suomen ydinvoimaa rakensivat valtionyhtiö IVO ja Mankala-periaatteella luotu lähes osuuskunnan kaltainen TVO. Tuolloin ydininsinöörejä ajoi eteenpäin Leninin ja Edisonin periaate maan sähköistämisestä. Ydinaikamme alussa Suomen säännösten jatkuvan parantamisen periaate ei tarkoittanut jatkuvaa viranomaisvalvonnan laajentamisen periaatetta.

Nyt lintujen talvirokinnan alettua ei onneksi siemenien ja munien rosvoja eli oravia ole näkynyt. Siitä tulee mieleen kysymys: mitä yhteistä periaatetta oravat ja asianajajat noudattavat?

”Älä liikaa omaa pesääsi ja put-saa huolella myös muiden pesät”.

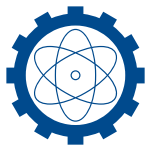
**Yrjö Ydin**

**Palautusosoite:**

Suomen Atomiteknillinen Seura  
c/o Jenna Järvenpää  
PL 1000  
02044 VTT

**Osoitteenmuutokset:**

sihteeri@ats-fns.fi

**ATS**

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

---

**KANNATUSJÄSENET**

---

**FinNuclear ry****Platom Oy****Teknologian  
tutkimuskeskus VTT Oy****Fortum Power  
and Heat Oy****Pohjoismainen  
Ydinvaruutuspooli****Teollisuuden Voima Oyj****Konecranes Oyj****Pohjolan Voima Oyj****TVO Nuclear Services Oy****Helen Oy****Posiva Oy****Westinghouse****LUT-yliopisto****Steady Energy Oy****Pagode Oy****Sweco Finland Oy**