

# ATS

1|2020

Vol. 49

## YDINTEKNIikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

### **Apros®-ohjelmisto, suomalainen menestystarina**

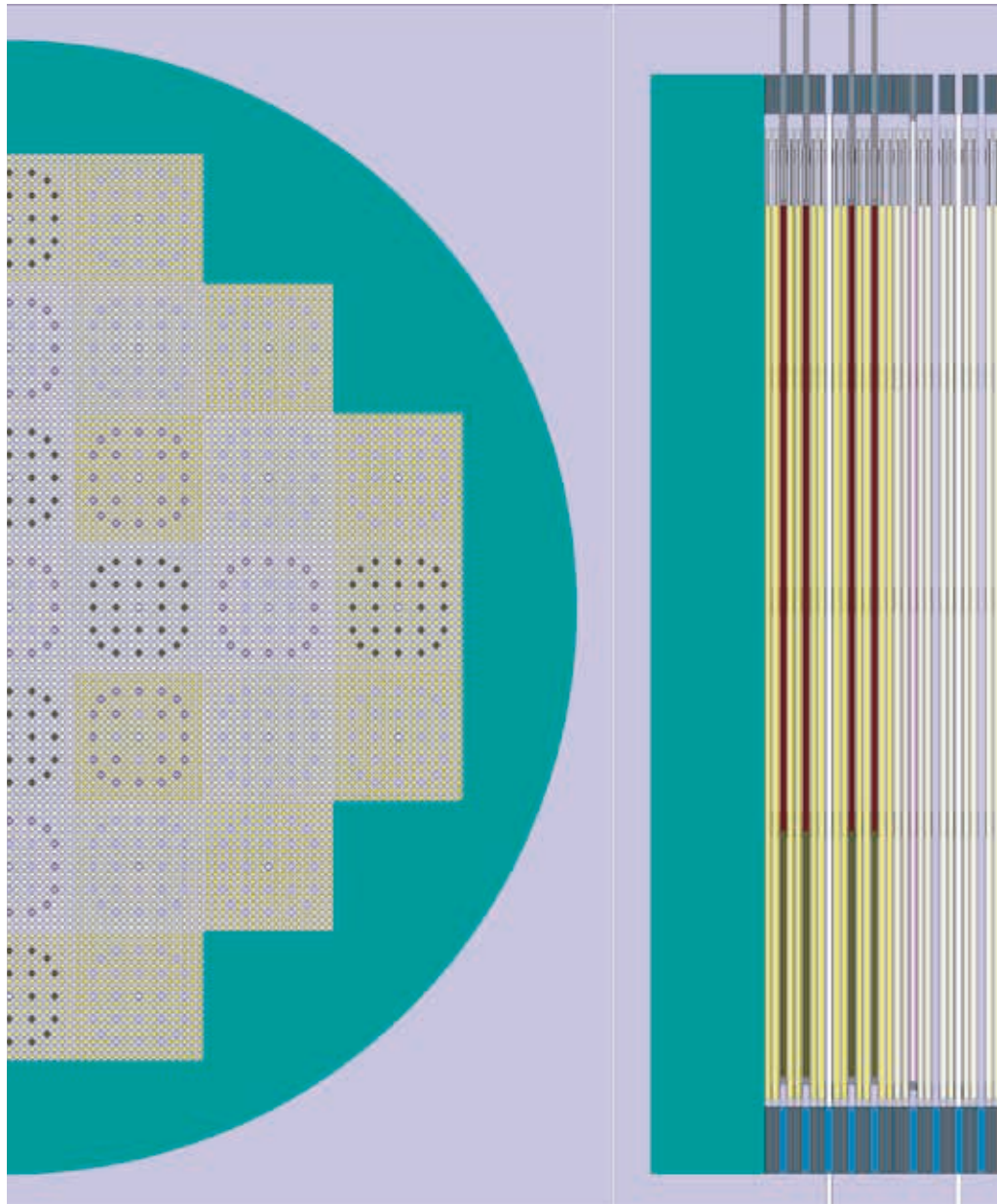
Apros-teemaisessa jäsentilaisuudessa valotettiin ohjelmiston historiaa, nykyisyyttä ja tulevaisuutta.

### **Toimintatapojen uudistamista yhteistuumiin**

Ydinvoimayhtiöt pyrkivät uudistamaan menettelyjä ja toimintatapoja laitehankinnoissaan yhteisessä KELPO-projektissa.

### **Ydinkaukolämpöä joustavasti**

Ydinvoimalaitosten lämmön ja sähkön yhteistuotannolla voidaan vastata tulevaisuuden energiajärjestelmän tarpeisiin.



## Julkaisija / Publisher

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

## Johtokunta / Board

### Puheenjohtaja / President

DI Tuomas Rantala  
puheenjohtaja@ats-fns.fi

### Varapuheenjohtaja / Vice President

TkT Jaakko Leppänen  
jaakko.leppanen@vtt.fi

### Sihteeri / Secretary General

FM Antti Rätty  
sihteeri@ats-fns.fi

### Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Pekka Kupiainen  
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

### Jäsenet / Board Members

DI Lauri Rintala  
lauri.rintala@fennovoima.fi

DI Simo Saarinen  
simo.saarinen@iki.fi

TkT Vesa Tanskanen  
vesa.tanskanen@stressfield.fi

## Toimihenkilöt / Functionaries

### ATS Young Generation

DI Hanna Tynys  
hanna.tynys@fortum.com

### Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

DI Henri Ormus  
henri.ormus@fennovoima.fi

### Women in Nuclear Finland

FM Eveliina Muuri  
eveliina.muuri@posiva.fi

### 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

### Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

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

### Ulkoasu ja taitto / Layout

Katariina Korhonen  
Suunnittelutoimisto Creatus  
katariina@creatus.fi

### Toimitus / Editorial Staff

DI Klaus Kilpi  
klaus.kilpi@welho.com

DI Anna Korpinen  
anna.korpinen@vtt.fi

DI Lauri Rintala  
lauri.rintala@fennovoima.fi

TkT Henri Loukusa  
henri.loukusa@vtt.fi

FM Sophie Haapalehto  
sophie.haapalehto@posiva.fi

## 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 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.

# Turvallista evoluutiota suomalaiseseen tapaan



**STUK JÄRJESTI VUOSINA 2018–2019** yhdessä kansainvälisten järjestöjen OECD/NEA:n ja WANO:n kanssa maakohtaisen turvallisuuskulttuurin arvioinnin, jossa kansallisen kulttuurin vaikutuksia turvallisuuteen pyrittiin punnitsemaan tähän kehitetyllä mittaristolla. Hankkeeseen osallistuivat STUKin lisäksi TEM ja kotimaiset ydinvoimayhtiöt, ja sen loppuraportti "Country-Specific Safety Culture Forum Finland" löytyy pdf-muodossa sekä STUKin että NEA:n verkkosivuilta.

Raportissa esitettävät luonnehdinnat suomalaisista ominaispiirteistä, jotka heijastuvat yksilötasolta organisaatiotasolle, tuntuvat kovin tutuilta. Luottamus, faktapohjaisuus, ratkaisuhakuisuus ja vastuullisuus ovat suomalaisille tyypillisiä ominaisuuksia, jotka perimmältään luovat tukevan pohjan turvallisuuskulttuurille. Näihin yhdistyvät tasa-arvoisuus, sääntöjen noudattaminen ja suora kommunikointitapa toimivat kansallisen toimintatavan vahvistimina.

Raportin mukaan suomalaisten tyyppiominaisuudet voivat kuitenkin joissakin tapauksissa toimia myös turvallisuuden vaarantajina.

Jos esimerkiksi luottamus johtaa siihen, että asiantuntijan sanomisia ei haasteta, turvallisuudelle tärkeä kyseenalaistamisen periaate ei toteudu. Ylipäänsä palautteen antaminen ja saaminen voi tuntua ongelmalliselta. Kun ydinenergia-ala jatkaa kansainvälistymistään, suomalaiset toimintatavat voivat myös olla haasteellisia ulkomaalaisille työntekijöille tai yhteistyötahoille.

Suomen Atomiteknillisen Seuran toiminnassa suomalaiset ominaispiirteet näkyvät varsin vahvasti: ATS jatkaa vakaasti raiteillaan vuodesta ja vuosikymmenestä toiseen, vastuullisesti sääntö- ja faktapohjaisesti. Itse olen päässyt seuraamaan ATS:n toimintaa reilun parinkymmenen vuoden ajan, lähietäisyydellä seuran sihteerinä vuosituuhannen vaihteessa ja sen jälkeen ATS Ydintekniikan toimituksessa kahteenkin otteeseen. Suomalaisen Ydintekniikan Päivien junailuunkin olen sekaantunut.

Edellinen vastaava päätoimittaja Anna Korpinen siirtyi vuodenvaihteessa rivitoimittajaksi hoidettuaan lehden vetovastuuta an-

siokkaasti vuodesta 2015. Uutena päätoimittajana pyrin jatkamaan lehden kehittämistä evoluutio-periaatteella, mikä on luontevaa ydinenergia-alalla, vaikka lehti ei olekaan turvallisuuskriittisesti keskeinen elementti. Hyödynämme edeltäjien työpanosta ja vauraudumme parin vuoden päästä juhlimaan lehden 50-vuotista taivalta.

Lehden toimitusta ja toimintatapoja on saatu Annan kaudella vahvistettua, mikä on positiivista. Haluan kuitenkin korostaa, että ATS Ydintekniikka tehdään periaatteella "jäseniltä jäsenille yhteisvoimin". Jos siis haluat lukea jostain aiheesta, niin ehdota sitä rohkeasti toimitukselle tai – vielä parempi – tarjoa kirjoittamaasi juttua julkaistavaksi!

**Jarmo Ala-Heikkilä**

Vastaava päätoimittaja

## SISÄLTÖ

### Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Turvallista evoluutiota suomalaiseseen tapaan .....	3
Pääkirjoitus: Ydinenergian tulevaisuuden avaimet .....	4
Editorial: Keys for the future of nuclear energy .....	6
Pakina: Onko ydinvoimarakentamisessa enää järkeä? .....	26

### Tapahtumat

Simuloi, älä spekuloi .....	7
-----------------------------	---

### Ajankohtaista

Ydinvoima-ala uudistaa yhdessä toimintatapojaan .....	10
Viranomaisen näkökulma KELPOistamiseen .....	13

### Tiede ja tekniikka

Evaluating the fulfilment of control rod related nuclear design bases for an SMR core using the Kraken computational framework .....	14
<i>Unna Lauranto</i>	
Joustava ydinkaukolämpö .....	18
<i>Miika Rämä</i>	
Pro gradu: VTT:n käytöstäpoistojätteiden pitkäaikaisturvallisuusanalyysi .....	22
<i>Juha Pitkäoja</i>	
Diplomityö: Epävarmuus- ja herkkyyshanalyysi ydinvoimalaitoksen sydän- ja laitosmalleille .....	24
<i>Rebekka Komu</i>	

# Ydinenergian tulevaisuuden avaimet

**TÄMÄ TALVI** on Etelä-Suomessa tuntunut neljän kuukauden pituiselta marraskuulta. Selkeästi kasvava huoli ilmastomuutoksesta on läsnä kaikessa yhteiskunnallisessa keskustelussa energiapolitiikasta, liikenteestä, lentämisestä, ruoasta, pikamuodista ja kulutustottumuksista.

Olen miettinyt ydinvoiman tulevaisuutta tässä kontekstissa enemmän kuin koskaan aiemmin. Täysin päästötön ydinvoima olisi ilmastomuutoksen torjunnan kannalta erittäin tärkeä tuotantomuoto pitkälle tulevaisuuteen. Lisäksi ydinvoima edustaa vakaata, ennustettavaa kapasiteettia, toisin kuin vahvassa kasvussa olevat uusiutuvat sähköntuotantomuodot. Miten me alalla toimivat ihmiset voimme varmistaa, että ydinvoima säilyy relevanttina ja kilpailukykyisenä jatkossakin?

Ydinvoiman hyväksyttävyyden ehdoton edellytys on, että ydinvoima on turvallista. Turvallisuuden eteen pitää tehdä jatkuvasti työtä, eikä koskaan saa ajatella, että on jo saavutettu riittävän hyvä taso. Lisäksi pidän käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusratkaisua Suomessa erittäin tärkeänä hyväksyttävyyden kannalta. Olisi tärkeää, että laajemminkin eri maissa kyetään tekemään päätöksiä mitä käytetylle ydinpolttoaineelle tehdään. Epäselvä tilanne antaa vahvoja argumentteja ydinvoiman vastustajille.

Edellä mainittujen perusasioiden lisäksi haluan valottaa kolmea tärkeää näkökulmaa ja niihin liittyviä konkreettisia toimia ydinvoiman tulevaisuuden kannalta. Aivan ensisijainen asia on, että ydinvoiman **kustannukset on saatava hallintaan**, jotta ydinvoimat tuotanto pysyisi kannattavana ja kilpailukykyisenä verrattuna muihin tuotantomuotoihin. Tähän liittyy laajempi näkökulma, että konservatiivisen alamme täytyy **kyetä uudistumaan** ja sopeutumaan muuttuvaan liiketoimintaympäristöön

huomattavasti ketterämmin, kuin mitä tähän asti on nähty. Kolmanneksi meidän tulee toimia siten, että **ala säilyy vetovoimaisena** työelämään tuleville uusille sukupolville.

**KUSTANNUKSET HALLINTAAN:** Edelleen kuuluu ydinvoimakeskusteluissa käsityksiä, että toiminta on hyvin kannattavaa sähköntuotantoa erittäin alhaisilla tuotantokustannuksilla. Tämä käsitys on virheellinen. Tosiasia on, että lähes kaikki ydinvoimaan liittyvä on kallista, koska vaatimukset ovat kovia. Konkreettisenä toimenä tässä haasteellisessa tilanteessa Fortum, Teollisuuden Voima ja Fennovoima käynnistivät vuonna 2018 yhteisen KELPO-hankkeen, joka uudistaa ydinvoimaloihin tehtävien hankintojen luvitus- ja hyväksyntämenettelyjä. STUK osallistuu projektiin tarkkailijana ja tukee työtä viranomaisnäkökulmasta. Projektin tarkoitus on ratkoa haasteita kuten raskaaksi koetut luvitus- ja kelpoistusmenettelyt sekä toimintatavat, jotka vaikeuttavat laitosten muutostyö- ja modernisointiprojekteja. Nykyiset laitokset kaipaavat modernisointeja, mutta alkuperäisiä laitteita ei enää aina ole saatavilla. Ydinalan toimittajaverkosto on myös harventunut ja kiinnostus toimittaa laitteita laitoksille laskenut.

KELPO-projektin tavoitteita ovat standardilaitteiden käyttämisen mahdollistaminen ydinlaitoksilla, laitteiden ja osien kattavan toimittajaverkoston ja laadukkaiden laitteiden saatavuuden varmistaminen sekä luvanhaltijoiden ja -hakijoiden välisen yhteistyön lisääminen sekä toimintatapojen yhtenäistäminen – ensin Suomessa, mutta myös kansainvälisesti.

**ALAN UUDISTUMINEN:** Ydinvoimassa turvallisuus on ensisijaista, joten muutoksia toimintaan tehdään vain, jos ollaan täysin varmoja seurauksista. Monella muulla alalla muodis-

sa olevat kokeilut ja nopeat käännökset eivät kuulu ydinvoimalaitoksen toiminnan kehittämisen keinovalikoimaan. Ydinvoimassa olemme konservatiivisia ja muutokset ovat hallittuja. Tämä turvallisuuskriittisen toiminnan kannalta elintärkeä kulttuuri voi tehdä meistä kuitenkin hyvin hitaasti liikkuvia ja kykenemättömiä ajattelemaan luovasti ja sitä kautta ratkomaan haasteitamme. Voisiko ajatella, että ydinvoimaakin voisi katsella osittain uusin silmin rohkeammalla tutkimus- ja kehitystoiminnalla? Juuri näin minusta tapahtuu innostavassa – joku voisi sanoa jopa hypetyssä – pienten modulaaristen reaktoreiden (SMR:ien) tutkimuksessa. SMR:t ovat kiinnostavia sähköntuotantoa laajemmän dekarbonisoinnin tarpeen vuoksi, sillä uudenlaiset pienet reaktorit soveltuvat myös lämmöntuotantoon. Ydinvoimateollisuuden edustajien lisäksi aktiivisia ovat myös kunnalliset energia-yhtiöt, kansalaisjärjestöt ja poliitikot. STUK ja TEM ovat myös vahvasti keskustelussa mukana, jotta lait ja vaatimukset mahdollistaisivat, että ydinvoimat tuotanto tulevaisuudessa voisi olla erilaista ja hajautetumpaa kuin tänä päivänä. Luvitusmenettelyjen ja viranomaisvaatimusten kansainvälinen yhdenmukaistaminen on ehdoton edellytys SMR:ien toteuttavuudelle.

**ALAN VETOVOIMA:** Joka toimialalla kilpaillaan tänä päivänä lahjakkaista ihmisistä. Suomessa on ollut perinteisesti hyvä tilanne ydinvoimaosaamisessa, mutta jo naapurimaassamme Ruotsissa, jossa ydinvoiman tulevaisuus on ollut vaakalaudalla vuoden 1980 kansannäestyselästä asti, osajista alkaa olla pulaa. Suomessakin vuosikursit pienenevät ja kilpailu parhaista osajista kiristyy kaikilla aloilla. Minusta on todella hienoa, että voivottelun sijaan on ydinvoima-alalla tartuttu toimeen:



arvioidaan parhaillaan tätä kokonaisuutta erittäin huolellisesti, eli tutkimme mahdollisuutta jatkaa Loviisan voimalaitoksen käyttöikää. Päätöksiä ei ole vielä tehty. Näidenkin kauaskantoisten päätösten kannalta edellä läpikäytyt teemat ydinvoiman merkityksestä ilmastomuutoksen torjunnassa, kilpailukyvyyn parantamisesta sekä alan uudistumisen, vetovoiman ja relevanssin vaalimisesta ovat aivan keskeisiä.

**Petra Lundström**  
Vice President  
Nuclear Services  
Fortum

juuri nyt talvella 2020 käynnistyvä Nordic Nuclear Trainee -koulutusohjelma tuo yhteen Pohjoismaiden ydinalan osaajat. Fortum ja Teollisuuden Voima ovat yhdistäneet voimansa Vattenfallin ja Uniperin kanssa koulutusohjelman järjestämisessä. Ohjelman avulla urapolkunsu alussa olevat pääsevät verkostoitumaan ja oppimaan yhdessä ydinalalla tarvittavia tietoja ja taitoja aina energiamaarkkinoista ydinalan yhteistyöhön ja viestintään.

Ydinvoima on luonnollisesti erittäin tärkeä osa Fortumin sähköntuotantoa, sillä ydinvoimalla tehdään puolet Fortumin tuottamasta sähköstä Pohjoismaissa. Olemme mukana kaikissa edellä kuvatuissa konkreettisis-

kehitysaktiviteeteissa, eli KELPO:ssa, SMR-tutkimuksessa (lukuisissa hankkeissa) ja Nordic Nuclear Traineeissa, ja pyrimme päivittäisessä toiminnassamme kaikkiin keinoin luomaan ydinvoimalle vahvaa tulevaisuutta.

Haluan lopettaa tämän pääkirjoituksen siihen, mistä ydinvoima alkoi Fortumissa, eli Loviisan voimalaitokseen, joka on tuottanut puhdasta sähköä jo yli 40 vuoden ajan. Loviisan voimalaitoksen käyttöluvut ovat voimassa vuosien 2027 (yksikkö 1) ja 2030 (yksikkö 2) loppuun. Mahdolliseen uusien käyttö lupien hakemiseen vaikuttavat teknisten seikkojen lisäksi myös taloudelliset ja poliittiset seikat sekä markkinoiden kehitys. Yhtiössä



# Keys for the future of nuclear energy

**T**HIS WINTER HAS FELT LIKE a four-month-long November. An increasing concern for climate change is present in all public discussion on energy policy, traffic, flying, food, fashion and consumption.

I have been pondering the future of nuclear energy in this context. Emission-free nuclear energy would be an important energy producer for fighting climate change. Additionally, nuclear energy gives stable and predictable capacity in contrast to renewables. How can we who are working in this field ensure that nuclear energy remains relevant and competitive?

An unconditional prerequisite for acceptance of nuclear energy is that it is safe. We have to keep on working for safety and never be content with the level we have reached. Moreover, the solution for final disposal of spent nuclear fuel in Finland is vital for acceptance. It would be important that other countries make their decisions on this matter, because a vague situation gives strong arguments to opponents.

I wish also to emphasize three important aspects. The first one is that **the costs of nuclear energy have to be under control**, so that the production remains profitable and competitive. This is connected with a broader issue that our conservative field **has to be able to renew itself** and adapt to the changing business environment with improved agility. The third important aspect is to **keep our field attractive for young generations**.

**COST CONTROL:** It is a common argument that nuclear electricity production is very profitable. This is incorrect. The fact is that everything nuclear-related is expensive, because the requirements are strict. As a concrete action, Fortum, Teollisuuden Voima and Fennovoima started in 2018 a project called KELPO where the goal is to renew the licensing and qualification procedures for nuclear equipment procurement. STUK participates in the project as an observer and supports it from the regulator perspective. The goal is to solve challenges in licensing and qualification that complicate renovation and modernisation

projects at the plants. The original equipment may not be available anymore and the supplier network has become sparse and less interested in nuclear-grade deliveries.

The objectives of the KELPO project include: enable to use high-quality standard equipment at nuclear plants, ensure the supply of equipment and parts, and increase collaboration and standardization between licensees, first in Finland but also internationally.

**RENEWAL OF THE FIELD:** Safety comes first in nuclear energy, so it is natural that changes are made only when all consequences are certain. A culture of experimentation that is fashionable in many other fields does not belong to the nuclear field. We are conservative and changes are controlled in these safety-critical activities. This can, however, slow us down and prevent us from thinking creatively in problem solving. Could we look at nuclear with new eyes by adding some boldness to our research and development? In my opinion this is what happens in the inspiring – someone could say hyped – research on small modular reactors (SMR's). SMR's are interesting for decarbonizing beyond electricity production, for example in heat production. In addition to nuclear power plant industry, interest is shown by municipal energy companies, non-governmental organizations and politicians. The Finnish regulators STUK and MEAE are also active in the discussion, essential for enabling our legislation to accept a more versatile and decentralized nuclear energy production than today. International harmonization of licensing and regulations is a prerequisite for building SMR's.

**ATTRACTIVENESS:** Every industry is competing for talents. In the nuclear energy field, the situation has traditionally been good in Finland, while in our neighbouring Sweden, where the future of nuclear has been uncertain since the referendum of 1980, there is a lack of qualified people. Also in Finland, cohorts are decreasing and competition for talents is getting harder. It is great that practical measures are taken in Finnish-Swedish

collaboration to tackle this problem. In winter 2020, Nordic Nuclear Trainee programme starts to bring together skilled nuclear workers. This programme, organized by Fortum, Teollisuuden Voima, Vattenfall and Uniper, gives an opportunity to improve skills and network internationally. The curriculum is wide ranging from energy markets to collaboration in the nuclear field and communications.

Nuclear energy is naturally an important part of Fortum's electricity generation, as about half of our Nordic production is nuclear. We are involved in all the above-mentioned development activities: KELPO, SMR research and Nordic Nuclear Trainee programme. We aim to create a strong future for nuclear in our everyday operations.

I wish to conclude with the start of nuclear age in Fortum, namely Loviisa nuclear power plant. Loviisa has produced clean electricity already for over 40 years. The licenses are valid until the end of 2027 (unit 1) and 2030 (unit 2). A possible application for license extension depends on technical issues but also on economy and politics as well as market development. Fortum is thoroughly assessing the situation and possibilities to apply for an extension. As of this writing no decisions have been made. The themes above are crucial also for these far-reaching decisions: climate change mitigation, improving competitiveness, and renewal, attractiveness and relevance of the nuclear energy field.

**Petra Lundström**  
Vice President  
Nuclear Services  
Fortum



Apros on käytössä Loviisan laitoksen LOKS2-koulutussimulaattorilla, jossa ohjauspaneelit on toteutettu kosketusnäytöillä (kuva: Fortum).

# Simuloi, älä spekuloi

Teksti: Matti Paljakka

Apros®-ohjelmisto on yksi suomalaisen ydinturvallisuustutkimuksen menestystarinoista. Sen avulla kokonainen asiantuntijasukupolvi on perehtynyt ydinvoimalan ilmiöihin syvällisesti, jopa lähdekooditasolla. Sillä on tuotettu tietoa laitosten turvallisuudesta laitoshankkeissa ja muutostöitä suunniteltaessa, suunniteltu ja testattu järjestelmiä, kehitetty hätätilanohjeita ja annettu koulutusta operaattoreille. Apros-lisenssejä on myyty satoja noin 30 maahan. Laitostoimittajista riippumattomana työkaluna Apros on tärkeä osa Suomen tarjoamaa tukea uusille ydinenergiamaille. (Apros® on Fortumin ja VTT:n rekisteröity tavaramerkki. Lisätietoa [www.apros.fi](http://www.apros.fi).)



**DI Matti Paljakka**

Myyntipäällikkö, Ydinenergia  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
[matti.paljakka@vtt.fi](mailto:matti.paljakka@vtt.fi)

**A**PROSIN KEHITYS KÄYNNISTETTIIN 1980-luvun puolivälissä IVO:n ja VTT:n yhteistyönä. Oli todettu, että markkinoilla ei ollut ohjelmistoja, jotka olisivat samanaikaisesti riittävän tarkkoja turvallisuusanalyysiin, riittävän joustavia suunnittelun tukemiseen ja riittävän nopeita koulutussimulaattoreihin. Toisaalta maassamme oli hyvää kokemusta simuloinnin käytöstä esim. Loviisan ydinvoimalaan liittyvissä analyyseissä ja automaatiojärjestelmien testaamisessa. Vuosikymmenten varrella Aprosta on sovellettu kaikkiin näihin käyttökohteisiin, ja Aprosien alkuperäisen ajatuksen mukaisesti eri tarkoituksiin voidaan käyttää uudelleen samaa mallia, mikä säästää aikaa ja rahaa.

Ydinenergiasektorin ulkopuolella Aprosta sovelletaan kattilalaitosten konseptikehitykseen ja käyviin laitosten tukemiseen, esim. kun ajotapoja muutetaan joustavammiksi. Aprosilla kehitetään laivojen energiajärjestelmiä ja mitoitetaan niiden komponentteja. Aprosilla tutkitaan alueellisten energiajärjestelmien dynamiikkaa, kun sääriippuvan tuotannon osuus on suuri, mitoitetaan energiavaroja ja kehitetään säätöratkaisuja. Uusia sovellusalueita ja -kohteita löydetään jatkuvasti.

## Edistyksellistä simulointia

Silloin kun nimi Apros oli vielä lyhenne ja se kirjoitettiin isoin kirjaimin, kirjain A tuli sanasta Advanced. Apros on todella ollut alusta lähtien edistyksellinen. Kun ohjelmisto suunniteltiin, oli edistyksellistä, että ratkaisijoitten tarvitsemat tietorakenteet rakentuvat automaattisesti mallimäärittysten perusteella ja simuloinnin alkaessa ratkaisijat päivittävät samaa tietokantaa kuin mihin mallimäärittelyt talletetaan. Ajetta malli syntyy suunnittelutiedosta kirjastokomponenttien avulla; sen rakentamiseen ei tarvita ohjelmointia, eikä loppukäyttäjälle tarvitse toimittaa lähdekoodia. Mallin määrittely ja simuloinnin ajamisen välissä ei ole koodigenerointivaihetta, vaan simulointi käynnistyy juohevasti senkin jälkeen, kun mallimäärittelyksiä on muutettu.

Tänäkin päivänä yksi Aprosien keskeisistä eduista on, että se tarjoaa yhtenäisen ympäristön prosessi-, automaatio- ja sähköjärjestelmien malleille, ja keskeiset riippuvuudet saadaan mukaan. Liittyhän moni turvallisuuden kannalta mielenkiintoinen kysymys erilaisten järjestelmien yhteistoimintaan. Esimerkiksi jokaiselle prosessikomponentille, joka tarvitsee sähköä, voidaan määrittellä, mistä kiskosta

sähkö tulee. Siten on suhteellisen yksinkertaista luoda skenaario, jossa osa laitoksen sähköjärjestelmästä menetetään.

## Tieto hallinnassa

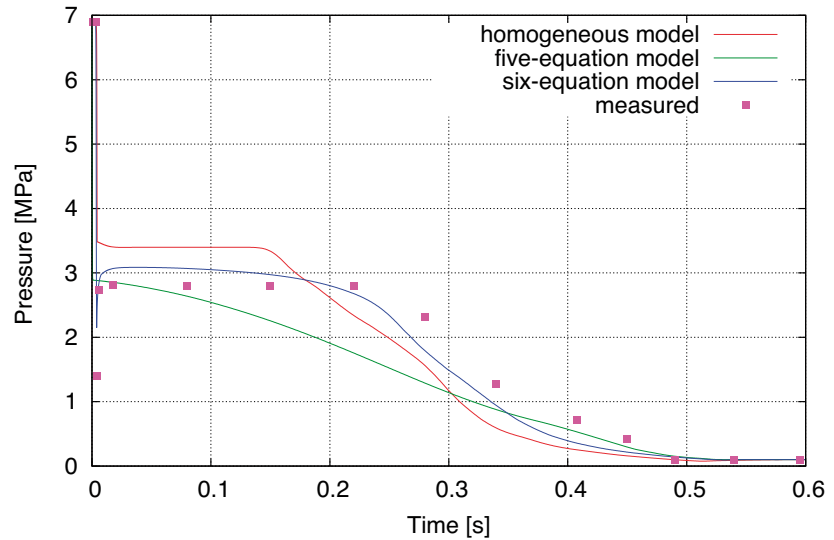
Periaate jäsentää malli laitoksen käsittein antanut hyvän pohjan graafisten käyttöliittymien toteuttamiselle, joilla mallia rakennetaan diagrammeditorien ja parametridialogien avulla. Tällaisia mallinnusympäristöjä on ollut jo useampi sukupolvi, ja nykyisin käytössä olevaa pidetään erityisen käyttäjäystävällisenä. Siinä malli rakennetaan kokonaan graafisten näkymien kautta, ja mukana on monipuolisia visuaalisia esitystapoja, esim. reaktorin 3D-näkymät tai binäärisignaalien tilojen esittäminen värein. Operaattorikäyttöliittymiä voi protoilla mallinnusympäristössä kevyellä OperUI-tuotteella, ja monipuolisempiin visualisointeihin on liittynyt. Apros on tullut pitkän matkan VAX/VMS:llä komentotulkin kautta käytettävästä ohjelmasta plug-in-komponentiksi Simantics-sovelluskehikseen, joka on toteutettu Javalla Eclipse-ympäristössä.

Simuloinnin läpimurto suunnitteluun ruutiinomaisesti kuuluvana työmenetelmänä on tehnyt tuloaan vuosikymmeniä. Yksi pahimmista hidasteista on ollut, että simulointityövälineet ovat olleet tiedon saarekkeitä. Simulointimalli on pitänyt rakentaa erikseen, vaikka sama tieto on jo syötetty erilaisiin suunnittelujärjestelmiin. On vaatinut paljon käsityötä varmistaa, että simulointimalli vastaa suunnittelutietoa ja sitä kautta laitoksen haluttua konfiguraatiota. Analyysien tuloksethan voivat olla oikein vain, jos lähtötiedot ovat oikein.

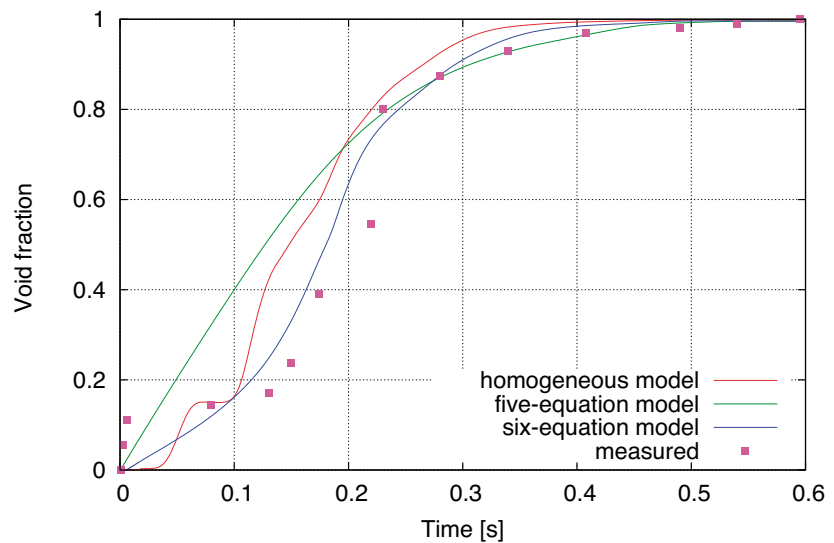
Aprosin kehityksessä tähän ongelmaakenttään on kiinnitetty erityistä huomiota, ja Aprosin mallinnusympäristön kautta voidaan täsmällisesti dokumentoida, mistä mikäkin lähtötieto on peräisin. Aprozilla on verrattain monipuoliset rajapinnat, joitten kautta pystyy ohjelmallisesti näkemään mallin sisällön ja muokkaamaan sitä. Rajapintoja on käytetty mallin vertaamisessa laitoksen kunnossapitojärjestelmien sisältämän tiedon kanssa. Onpa jopa kokeiltu simulointimallin luomista automaattisesti suunnittelujärjestelmien sisältämästä tiedosta.

Tiedon jäljittämistä ja työryhmän toimintaa helpottamaan on äskettäin kehitetty Aprosin

Edwards pipe: pressure of closed end (APROS 6.09.33)



Edwards pipe: void fraction at 1.5 metres from the closed end (APROS 6.09.33)



*Jokainen asiakkaille toimitettava Aprosin-versio käy läpi laajan validointiohjelman, jossa julkaistavan version tuottamia tuloksia verrataan aiempien versioiden tuottamiin tuloksiin ja mittausdataan, jos sellaista on. Yksi validointitapauksista on Edwardsin putki, kansainvälinen kaksifaasivirtauksen benchmark-koee (kuva: VTT).*

ATS:n jäsentilaisuudessa 5.2.2020 oli teemana Aprosin ja siellä kuultiin kolme esitystä: Aprosin historia, nykyisyys ja tulevaisuus. Uutinen tilaisuudesta sekä esitelmät löytyvät seuran verkkosivuilta: [ats-fns.fi/fi/11-ajankohtaista/149-jaesentilaisuus-apros-voimalaitossimulaattori](https://ats-fns.fi/fi/11-ajankohtaista/149-jaesentilaisuus-apros-voimalaitossimulaattori).



Team Server. Sen kautta mallintajat saavat haluamansa version mallista ja voivat hallitusti viedä työnsä tulokset kollegoiden käyttöön.

### Mitä tulevaisuus tuo?

SMR:t (Small Modular Reactor) ovat päivän sana ydinenergiassa, joten Aprosín kehityksessäkin on varauduttu niiden mallintamiseen. SMR-konsepteja on kehitteillä kymmeniä, ja ne ovat teknologioiltaan hyvin erilaisia. Sikäli kysymykseen, voiko Aprosilla mallintaa SMR:iä, ei ole yhtä vastausta. Kevytvesireaktorien mallintamiseen on hyvä perusta, ja Aprosiin on toteutettu monissa SMR-konsepteissa olevan helikaalihöyrystimen malli.

Myös lyijy-vismuttiseoksen virtausmalli on kehitetty ja validoitu koelaitosdataa vasten, ja heliumjäähdytteisestä reaktorista on tehty pistekinetiikkatasoinen malli. Mutta on Apros-lisenssi myyty myös eräälle sulasuolareaktorin kehittäville yritykselle suunnittelusimulaattoria varten. Vaikka Aprosissa ei ole neutroniikan ja termohydrauliikan kytkentää sulasuolareaktorille, Aprosilla tehtyä simulaattoria voi käyttää laitoksen kaiken muun toiminnan analysointiin.


Eikä kaikkea tarvitse pystyä laskemaan itse Aprosissa. Polttoaineaurioita on analysoitu yhdistelmällä Apros–Genflo–Fraptran. Putkiston rakenneanalyysiin Abaqus-ohjelmalla on viety Aprosilla laskettuja painetransientteja, ja yhteiskäyttö Fluent-virtauslaskentaohjelman kanssa on viety tuotteen tasolle.

Aprosín omistavat VTT ja Fortum puoliksi. Ideoita Aprosín kehittämiseksi tulee kummankin omistajan omasta käytöstä ja asiakaskunnalta, ja kehitystä priorisoidaan VTT:n ja Fortumin yhteistyönä. Lyhyen aikavälin tarpeita tulee etenkin laitoksiin liittyvistä analyseistä. Pitemmän aikavälin kehitysideoita ja uusia avauksia taas tuottaa tutkimus, onhan Aprosín kehityksestä lyhyt linkki niin Fortumin kuin VTT:n tutkimukseen.

VTT:llä Aprosilla on viime vuosina mallinnettu fuusiovoimalan jäähdytysjärjestelmiä ja lämpövarastoja, polttokennoja, happipolttoa, ylikriittistä hiilidioksidia, sellu- ja paperiprosesseja, aurinkolämmön käyttämistä voimalaitoksen esilämmittimissä, keskittäviä aurinkovoimaloita ja niiden öljy- ja sulasuolapiirejä, kaukolämpö- ja kaukokylmäjärjestelmiä, rakennusten energiankulutusta ja pientuotant-

toa, energian kemiallista varastointia sähköstä kaasuksi ja kylmän talteenottoa haihtuvasta nesteytetystä maakaasusta.

Aprosín tulevaisuuteen määrittää se, mihin suuntaan energiasektori kehittyä ja missä tarvitaan parempaa dynamiikan hallintaa, turvallisuutta, säätöjen kehitystä, komponenttien mitoitusta, lämpörasitusten laskentaa, ja tiedon ja tietämyksen siirtämistä ihmiseltä ja organisaatiolta toiselle. Toisaalta tulevaisuudennäkymiin vaikuttaa myös laskentatehon kasvu ja muiden teollisuuden käytössä olevien työvälineiden kehitys.

Kun voidaan laskea enemmän ja nopeammin, voidaan siirtyä analyyseistä optimointiin ja herkkyyssanalyyseihin jakamalla laskentaa klusterille ja ajamalla kokonaisuutta Testing Station -tuotteen avulla. Lisäksi nykyinen digital twin -buumi on jo tuonut harkintaan seurantasimulaattorit, siis laitoksen rinnalla laskevat mallit, jotka täydentävät laitoksen mittaustietoa ja antavat vinkkejä laitoksen kunnosta ja joista käsin voidaan käynnistää ennustavia simulointeja. 



**The Core Team  
of Nuclear Experts**

**PLATOM**

**Säteilyturvakeskuksen julkaisemien**

## **YVL-OHJEIDEN PERUSKOULUTUS**

*Tampereella*

**Torstaina 23.4.2020 klo 8–16**

Koulutus sisältää seuraavat YVL-ohjeet:  
A.1, A.3, A.5, B.1, B.2, E.3, E.6, E.7, E.8 ja E.9.

Kouluttajina toimivat  
YVL-ohjeiden kehitykseen osallistuneet,  
kokeneet alan asiantuntijat.

Osallistumismaksu:  
400 EUR/henkilö (ALV 0%)

Lisätietoa ja sitovat ilmoittautumiset  
9.4. mennessä:

**[www.platom.fi/YVL](http://www.platom.fi/YVL)**

# Ydinvoima-ala uudistaa yhdessä toimintatapojaan

**Teksti:** Maria Palo

Ydinvoimayhtiöt Fortum, TVO ja Fennovoima ovat yhdessä käynnistäneet KELPO-projektin uudistaakseen ydinvoima-alan menettelyjä ja toimintatapoja. Projektilla pyritään vastaamaan ydinvoima-alalla havaittuihin haasteisiin, takaamaan ydinvoiman toimintaedellytykset muuttuneessa toimintaympäristössä sekä mahdollistamaan turvallisuuden jatkuva kehittäminen.

**YDINVOIMA-ALAN** on uudistuttava. Niin Suomessa kuin ulkomailla on viime vuosina havahduttu haasteisiin: Raskaaksi koettujen menettelytapojen myötä muutos- ja korjausprojektit ovat hankaloituneet ja ne ovat toteutuessaan pitkiä ja kalliita. Lisäksi on havaittu, että laitetoimittajien kiinnostus osallistua ydinalan projekteihin on laskenut ja jotkin toimittajat ovat jopa päättäneet kokonaan vetäytyä ydinalan toimituksista.

Ydinalan on yhdessä tarkasteltava ja uudistettava toimintatapojaan. Vain näin voidaan jatkossa taata laadukas ja kattava toimittajaverkosto sekä laadukkaiden laitteiden saatavuus, muutos- ja korjausprojektien sujuva toteuttaminen, uusien laitoshankkeiden toteutettavuus, turvallisuuden jatkuva kehittäminen sekä ydinalan toimintaedellytykset muuttuneessa toimintaympäristössä. Uudistustarpeita on niin lainsäädännössä ja määräyksissä kuin yhtiöiden omilla toimintatavoissa ja käytännöissä. E erityisen tärkeää on kiinnittää huomiota siihen, minkälaisena ydinvoima-ala näyttääytty laiteoimittajille verrattuna muihin vaativiin asiakasryhmiin.

## **KELPO-projekti vastaa haasteisiin**

Haasteisiin vastaamiseksi voimayhtiöt ovat yhdessä käynnistäneet KELPO-projektin. Myös STUK osallistuu projektiin tarkkailijana ja tukee työtä.

KELPO-projektin yhtenä tavoitteena on viedä käytäntöön graded approach -periaatetta, jonka mukaan turvallisuutta koskevat vaatimukset ja toimenpiteet tulee mitoittaa ja kohdentaa riskien ja turvallisuusmerkityksen perusteella. Tavoitteena on myös mahdollistaa laadukkaiden standardilaitteiden hyödyntäminen alempien turvallisuusluokkien laitehankinnoissa sekä varmistaa kattava toimittajaverkosto ja laadukkaiden laitteiden saatavuus. Lisäksi tavoitteena on lisätä luvanhaltijoiden välistä yhteistyötä ja yhtenäistää toimintatapoja.

KELPO-projekti käynnistyi vuonna 2018 ensimmäisellä vaiheella, jossa keskityttiin ehdottamaan tarkoituksenmukaisempia luvitus- ja kelpoitusmenettelyjä erityisesti alempien turvallisuusluokkien mekaanisiin laitteisiin liittyen. Toisessa vaiheessa vuonna 2019 keskityttiin erityisesti luvanhaltijoiden yhteistyön tarkasteluun ja kehittämiseen sekä uusien



**DI Maria Palo**  
Manager, Nuclear Energy  
AFRY  
maria.palo@afry.com



Fortum Power and Heat Oy:n toimitusjohtaja Tiina Tuomela kertoo kehitystyön tärkeydestä Fortumin kannalta KELPO-projektin seminaarissa joulukuussa 2019 (kuva: Pasi Tuohimaa, TVO).

ehdotettujen laitetason menettelyjen pilotoitiin. KELPO-projekti jatkuu vuonna 2020 keskittyen erityisesti luvanhaltijoiden yhteistyön kehittämiseen ja käytännön toteutukseen.

### Laadukkaat standardilaitteet ydinvoima-alan käyttöön

Standardilaitteella tarkoitetaan laitetta, jonka suunnittelu, valmistus, tarkastus, testaus ja dokumentointi perustuvat yleisesti tunnetuihin, muillakin teollisuudenaloilla käytössä oleviin ja valmistajan normaalisti käyttämiin standardeihin ja menettelytapoihin. Standardilaitteet voivat olla tilaustuotteita, jotka mitoitetaan ja valmistetaan tilauskohtaisesti asiakkaan vaatimuksiin perustuen tai ns. hyllytavaraa. Standardilaitteiden käytössä on kehitystarvetta erityisesti mekaanisella puolella, kun taas sähkö- ja automaatiolaitteista suurin osa on nykyiselläänkin standardilaitteita myös turvallisuusluokitelluissa käyttökohteissa.

Suomesta ja ulkomailta kertyneiden kokemusten perusteella näyttää siltä, että standardilaitteiden sarjavalmistaisuus, suuret tuotan-

tomäärät ja laajat käyttökokemukset – sekä näiden myötä mahdollistuva jatkuva parantaminen ja havaittujen puutteiden karsiminen – johtavat lopputuotteen parempaan laatuun ja käytettävyyteen verrattuna yksittäisiin, pienten valmistuserien räätälöityihin tuotteisiin. Paras laatu saavutetaan yleensä silloin, kun valmistaja toimii vakiintuneiden prosessien ja toimintatapojensa mukaan. Lisäämällä standardilaitteiden käyttöä alemmissa turvallisuusluokissa pyritään paitsi varmistamaan laitteiden ja varaosien saatavuus, myös saamaan markkinoiden parhaat laitteet ja toimittajat ydinvoima-alan käyttöön.

### Yhteistyöllä selkeyttä, sujuvuutta ja tehokkuutta

Lisäämällä luvanhaltijoiden yhteistyötä ja yhtenäistämällä toimintatapoja tavoitellaan erityisesti selkeyttä, sujuvuutta ja tehokkuutta laitehankintoihin. Ydinvoima-alan on yhtenäistettävä ja selkeytettävä toimintaansa ja vaatimuksiaan ja mukauduttava laiteoimittajien normaalisti käyttämiin menettelyihin ja toimintatapoihin, mikä on käynyt selkeästi ilmi

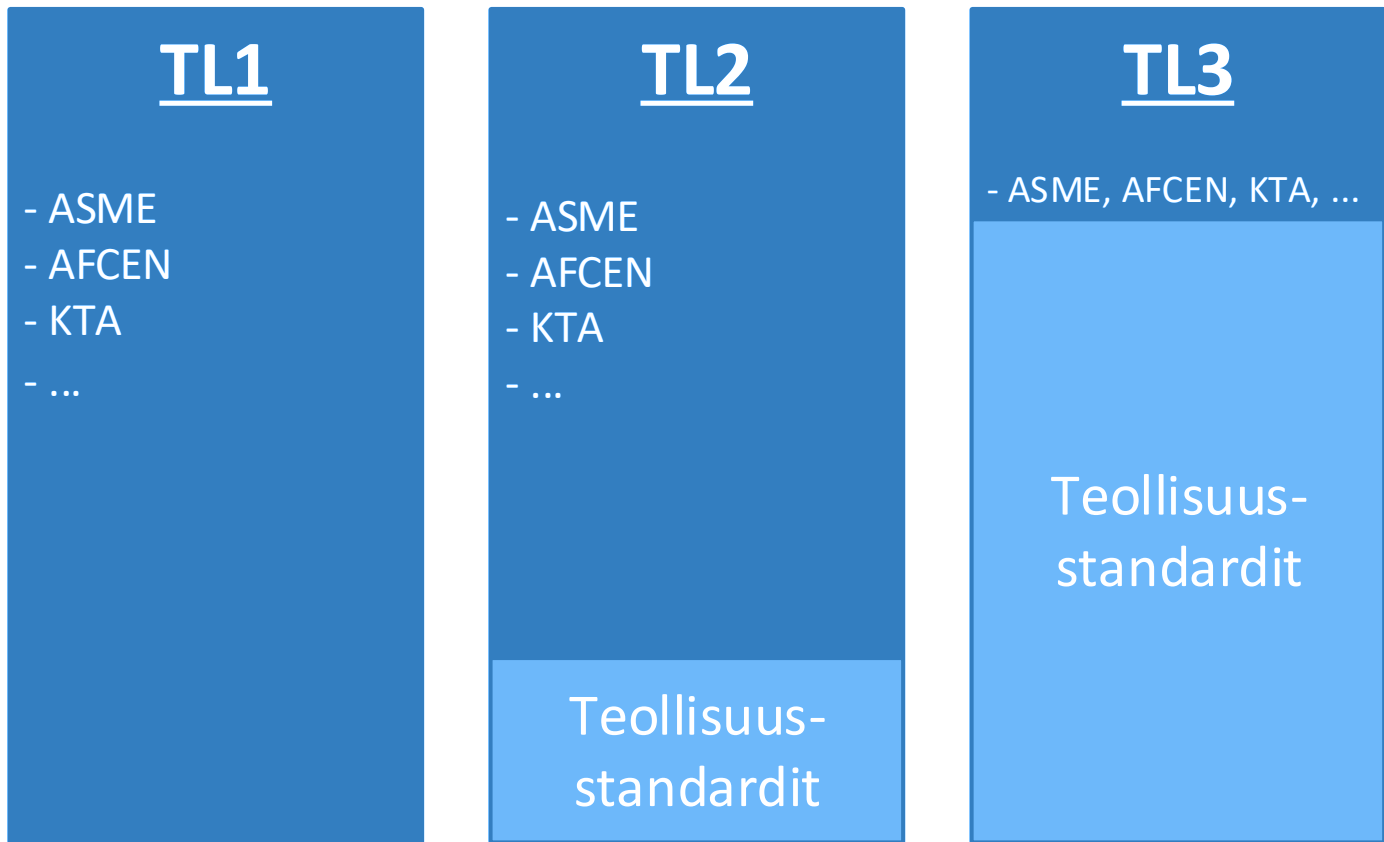
myös laiteoimittajien kanssa käydyissä keskusteluissa.

Laitehankintoihin ja kelpoistukseen liittyy useita sellaisia vaiheita, jotka luvanhaltijat voisivat tehdä yhdessä tai yhden jo tekemä työ olisi muiden hyödynnettävissä. Lisäämällä tällaista yhteistyötä voidaan välttää päällekkäistä työtä sekä luvanhaltijoiden että viranomaisen näkökulmasta ja näin yhtenäistämisen lisäksi tehostaa toimintaa.

Yhteistyön toteuttamiseksi on tässä vaiheessa suunniteltu luvanhaltijoiden yhteistä Digitaalista Alustaa, jossa säilytetään ja ylläpidetään yhteisiä dokumentteja, kuten mallipohjia, menettelyjä ja yhteisiä yleisiä laitevaatimusmäärittelyjä sekä ylläpidetään yhteistä tietokantaa hyväksytyistä toimittajista ja tuoteperheistä sekä palveluntarjoajista ja kelpoistetuista laitteista.

### Pilotoinnista käytännön kokemuksia

KELPO-projektin osana toteutettavissa pilotiprojekteissa ehdotetaan laitetasolla uusia menettelyjä, kehitetään niitä edelleen ja testataan niiden toimivuutta käytännössä.



*KELPO-projektissa esitetty standardilaitteiden soveltamisalue erityisesti koskien mekaanisia laitteita. Turvallisuusluokassa 3 tulisi pääasiassa voida hyödyntää yleisten teollisuusstandardien mukaisia standardilaitteita.*

Pilottiprojekteissa myös tarkastellaan luvan haltijoiden vaatimusten ja aineistojen yhtenäistämistä käsiteltävän laiteryhmän osalta sekä yhteistä kelpoistamista. Mekaanisille sekä sähkö- ja automaatiolaitteille on kullekin oma pilottiprojektinsa. Pilottiprojektien projektiryhmissä ovat mukana kaikki voimayhtiöt sekä STUK, ja työ tehdäänkin tiiviissä yhteistyössä osapuolten kesken.

Mekaanisessa pilottiprojektissa testataan käytäntöä, jossa auktorisoidun tarkastuslaitoksen tekemät suunnitelma- ja valmistus-tarkastukset korvataan painelaitedirektiivin mukaisilla valmistajaan, valmistukseen ja tuotteeseen kohdistuvilla laatuvaatimuksilla siten, että tuote voidaan CE-merkitä. Tavoitteena on hyödyntää toimittajan normaalia valmistusprosessia. Keskeisessä roolissa pilotissa on luvan haltijoiden yhteinen yleinen laitevaatimusmäärittely, jota täydennetään käyttöpaikkakohtaisilla vaatimuksilla. Pilotissa menettelyä testataan turvallisuusluokan 3 käsikäyttöisillä venttiileillä.

Sähköpilotissa pilotoivaksi laiteryhmäksi valittiin turvallisuusluokan 2 akusto. Toimintatapoihin ehdotetaan muutoksia siten, että laitepaikkakohtaisen kelpoistuksen sijaan tulevaisuudessa voitaisiin kerralla kelpoistaa valmistajan koko tuotesarja. Laiteusinnan yhteydessä luvan haltija valitsisi ja hankkisi valmiiksi kelpoitetusta tuotesarjasta mitoitukseltaan sopivan laitteen. Menettelytapaa voisi tulevaisuudessa laajentaa esimerkiksi sähkömoottoreihin. Sähköpilotissa myös ehdotetaan muutoksia laitetason aineistojen toimitamiseen STUKin käsiteltäväksi. Ehdotuksen tavoitteena on keventää viranomaisen työtä laitetasolla ja toisaalta korostaa luvan haltijan omaa roolia.

Automaatiopilotissa pilotoinnin kohteeksi valittiin yleisesti teollisuudessa käytössä oleva, teollisuusstandardien mukaisesti valmistettu painelähetinperhe, joka on tarkoitus kelpoistaa turvallisuusluokkaan 3. Samalla tarkastellaan keinoja yksinkertaisten ohjelmoitavien laitteiden kelpoistamiseksi. Teollisuuteen val-

mistettujen ohjelmaa sisältävien automaatiolaitteiden kelpoistaminen ydinlaitoksille turvallisuusluokiteltuihin käyttökohteisiin on tunnistettu haasteelliseksi ja kehitystä vaativaksi alueeksi.

#### **Yhdessä tekemistä ja avointa tiedonjakoa**

Yhteistyöllä on KELPO-projektissa tärkeä rooli. Projekti itsessään lisää ja kehittää luvan haltijoiden välistä yhteistyötä ja toimii alustana, jonka pohjalta luvan haltijoiden yhteistyötä rakennetaan ja kehitetään.

Projektissa tehty yhteistyö luvan haltijoiden ja STUKin välillä sekä mahdollisuus keskustella avoimesti haasteista ja muutostarpeista kaikkien osapuolien näkökulmasta on tarpeellista ja hyödyllistä. KELPO-projekti on myös tärkeä tiedonlähde STUKin oman toiminnan ja säännösten kehittämisessä.


Yhteistyötä on tehty myös kansainvälisellä tasolla. Erityisesti FORATOMin fasilitoima yh-



EYT

Teollisuus-  
standardit

teistyö on ollut KELPO-projektin kannalta merkityksellistä. Keskusteluja on käyty myös esim. Ruotsin, Tšekin ja Ranskan ydinvoimayhtiöiden kanssa. KELPO-projektia ja tehtyä kehitystyötä on myös esitelty alan kansainvälisissä seminaareissa. Toiminnan selkeyttämisen ja yhtenäistämisen kannalta on tärkeää avoimesti jakaa kokemuksia ja parhaita käytäntöjä sekä harmonisoida menettelytapoja myös kansainvälisesti.

KELPO-projektista on julkaistu ensimmäinen raportti tammikuussa 2019 ja se on saatavilla Energiateollisuuden internet-sivuilta. Alkuvuodesta 2020 julkaistaan toisen vaiheen raportti, johon aihepiiristä tarkemmin kiinnostuneet voivat tutustua. 

*Kirjoittaja on toiminut KELPO-projektin projektipäällikkönä ja -koordinaattorina vuosina 2018–2019.*

# Viranomaisen näkökulma KELPOistamiseen


**S**TUK TEETTI VUOSINA 2017 ja 2018 kaksi tutkimusta ydinlaitosten luvituksen liittyvistä kehitystarpeista. Tutkimuksista ensimmäinen oli esiselvitys, jossa haastattelujen avulla kartoitettiin eri alalla toimivien tahojen tarpeita ja valmiuksia luvitusprosessin kehittämiseksi. Tutkimukseen liittyvissä haastatteluissa erääksi keskeiseksi haasteeksi ydinvoima-alalla Suomessa osoittautuivat ydinlaitosten laitteisiin liittyvät hyväksyntämenettelyt – nykyiset menettelyt koettiin osin raskaiksi erityisesti edellytetyn dokumentaation ja valmistuksen aikaisten tarkastusten suhteen. Lisäksi luvanhaltijat halusivat lisätä normaalien teollisuusstandardien mukaan valmistettujen laitteiden käyttöä turvallisuusluokitelluissakin kohteissa.

Tutkimuksista jälkimmäinen päätettiin kohdentaa kotimaisiin ydinalalle toimituksia tekeviin yrityksiin. Valmistava teollisuus koki toisaalta olemassa olevan viranomaisohjeiston eduksi, joka tarjoaa vakaan vaatimuspohjan, mutta toisaalta myös kyseenalaistuu muista teollisuudenaloista poikkeavien lisävaatimusten arvon. Teollisuus totesi myös ostajien, eli luvanhaltijoiden toiminnassa

parannettavaa – luvanhaltijat esittivät samoilta tuotteille hyvin erilaisia vaatimuksia, viitaten vaatimuksissa kuitenkin samaan viranomaisohjeeseen. Ongelmakenttä vaikuttikin olevan laajempi kuin pelkästään viranomaista koskeva.

Yhtenä alkusysäyksenä KELPO-projektin aloittamiselle vuonna 2018 oli edellä mainituista tutkimuksista ensimmäinen. Alusta asti oli selvää, että vaikka kyseessä olikin luvanhaltijoiden projekti, jonka tarkoituksena olisi ehdottaa laitteiden viranomaiskäsitteilylle vaihtoehtoisia menettelyjä, olisi STUK siinä aktiivisesti mukana omista lähtökohdistaan – parantamassa suomalaisten ydin- ja säteilyturvallisuutta kohdentamalla vaatimuksiaan sekä valvontaansa ja sitä kautta toimijoiden resursseja sinne, mistä niillä saadaan suurin turvallisuusohyöty.

STUK aloitti samaan aikaan laajamittaisesti vuonna 2013 uudistetun YVL-ohjeiston päivityskierroksen, jonka yhtenä keskeisenä tavoitteena oli hallinnollisen taakan keventäminen siellä missä mahdollista. Lisäksi pyrittiin varmistumaan graded approach -periaatteen soveltamisesta sekä huomioimaan voimayhtiöiden palaute muun muassa standardilaitteiden käytön lisäämiseksi laitoksilla.

Vuoden 2020 alussa luvanhaltijat ovat kehittäneet oman mallinsa mekaanisten standardilaitteiden käyttämiseksi turvallisuusluokassa 3. Menettelyt eivät merkittävästi poikkea vuonna 2019 julkaistuista ja 2020 julkaistavista uusimmista YVL-ohjeista. Pilottiprojektit etenevät kaikilla tekniikanaloilla ja TVO ottaa käyttöön ensimmäiset uuden menettelytavan mukaan hankitut venttiilit kevään 2020 vuosihuolloissa. Olennainen muutos aikaisempaan verrattuna on se, että luvanhaltijat ovat aloittamassa yhtenäisten hankintamenettelyjen yksityiskohtaisempaa määrittelyä ja suunnittelevat yhteistä alustaa laitetiedoille. On menty kelpo askel eteenpäin asioissa, jotka 2017 tunnustettiin merkittäviksi haasteiksi. 



**DI Tapani Virolainen**  
apulaisjohtaja  
Säteilyturvakeskus  
tapani.virolainen@stuk.fi

# Evaluating the fulfilment of control rod related nuclear design bases for an SMR core using the Kraken computational framework

Unna Lauranto

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

The development of a new computational framework called Kraken has recently begun at VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. The main goal of the development process is to combine the new generation of Finnish reactor analysis codes into a reactor analysis tool that can be utilized in licensing relevant analyses. Here, the Kraken framework is used to evaluate the fulfilment of control rod related nuclear design bases for a small modular reactor (SMR) core based on a combination of data from the NuScale licensing documents and the BEAVRS benchmark. Shutdown margins and control rod bank integral worths are evaluated for HZP and HPF conditions at the beginning of the first cycle using the reduced-order (nodal diffusion) neutronics solver of the Kraken framework coupled to the thermal hydraulic and fuel behaviour solvers of the framework.

Uutta laskentatyökalua, Krakenia, kehitetään parhaillaan VTT:llä. Kehitystyön päämäärä on yhdistää uuden sukupolven reaktorianalyysiratkaisijat yhdeksi laskentakokonaisuudeksi, jota voidaan hyödyntää luvitukseen liittyvissä analyyseissä. Tässä työssä Krakenia käytetään pienreaktorin mallinnukseen ja sen säätösauvojen ominaisuuksien laskemiseen. Mallissa käytetään dataa sekä BEAVRS-benchmarkista että NuScalen luvitusdokumenteista. Sulkumarginaalit ja säätösauvojen reaktiivisuusarvot lasketaan täyden tehon ja nollatehon olosuhteissa ensimmäisen polttoainekierron alussa käyttäen Krakenin nodaalidiffuusiomenetelmää hyödyntävää neutroniikkaratkaisijaa kytkettynä termohydrauliikka- ja polttoaineratkaisijoihin.

Kraken is a computational framework for nuclear analysis developed at VTT technical Research Centre of Finland Ltd. Kraken combines several independent codes to form a complete reactor analysis tool. Kraken is still under development, although some of the codes, such as Serpent, a high-fidelity Monte Carlo neutronics solver, are already well established in the research community. In addition to Serpent, Kraken contains Ants, a reduced-order nodal neutronics solver, SuperFINIX, a core level fuel behaviour module, and Kharon, a thermal hydraulics solver. This work includes Ants simulations coupled with Kharon and SuperFINIX using Cerberus as an interface between the codes.

Kraken is developed for analysis for nuclear licensing, which includes safety analysis containing validation of the reactivity control systems. Evaluation of control rod worths and shutdown margin (SDM) is relevant in safety analyses for determining capabilities for the reactivity control systems to execute and maintain shutdown in the case of nuclear transient or postulated accident conditions, and to return the reactor to cold conditions. The aim of this work is to determine control rod worths and evaluate the shutdown margin for an SMR core model

using Kraken. Total available control rod worth as well as individual control rod group worths are evaluated in hot full power (HFP), hot zero power (HZP) and cold zero power (CZP) conditions.

## Reactor core model

The reactor is a PWR-type light water reactor with the size of the core reduced to the SMR-scale. The reactor core geometry is based on a combination of data from BEAVRS [1], a full-core PWR benchmark for nuclear analysis, and the NuScale licensing documents [2], containing general information of an SMR design by NuScale Power.

The radial size of the core and active fuel length were designed according to the NuScale reactor. Additionally, the radial reflector surrounding the core was based on the NuScale specifications. Material compositions of the reactor core as well as detailed geometry of the fuel assemblies were based on the BEAVRS benchmark reactor core. The arrangement of the fuel assemblies by fuel enrichment was designed to produce as uniform radial power distribution as possible. Borosilicate

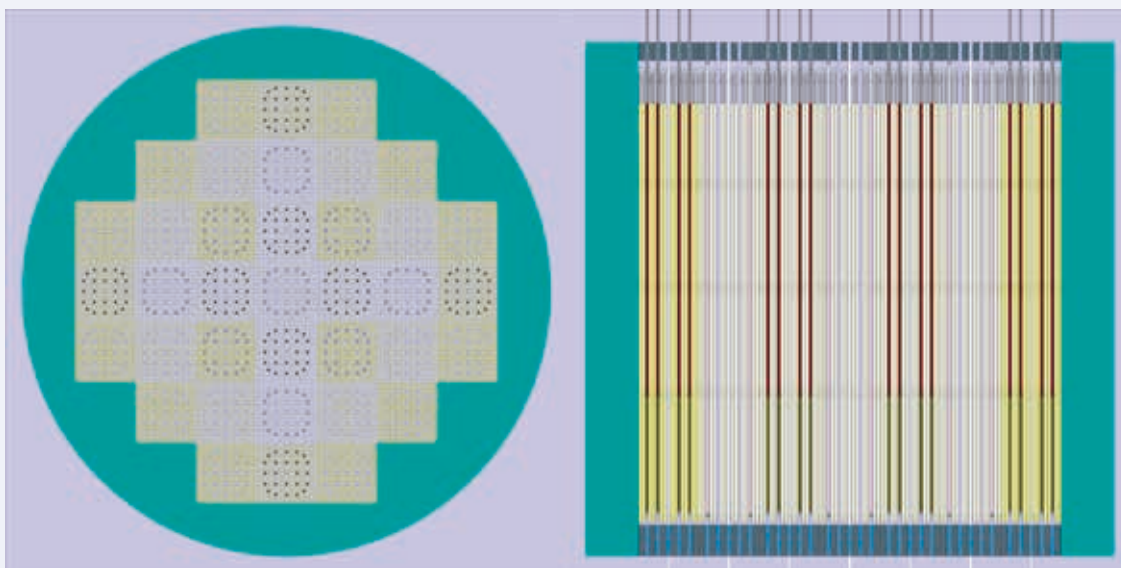


Figure 1. Horizontal and vertical plots of the modelled core geometry Serpent model. The plots show the regulating bank inserted into the core and the shutdown bank extracted.

glass burnable absorbers were placed in several assemblies to minimize assembly power peaking. The geometry of the control rods was designed according to the BEAVRS benchmark with the rod length decreased to match the NuScale core height. Control rod group positions were based on the NuScale specifications.

The number of grid spacers from BEAVRS was reduced to account for the scaled down length of the core. The grid spacer axial positions were recalculated by scaling intermediate distances of the grid spacers relative to the core height.

Horizontal and vertical geometries of the core are shown in figure 1.

### Relevant regulations

Regulations and requirements for nuclear power plants are listed by the U.S. Nuclear Regulatory Commission in the Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants [3] (NUREG-0800). The regulations include reactivity control requirements and control rod reactivity worth provisions. These regulations aim at ensuring sufficient shutdown capability and compensation of long-term reactivity changes.

It is required that two individual Reactivity Control Systems (RCSs) with different operating principles are provided, which in PWRs are control rods and soluble boron. Of these two, one is required to have capability to individually control normal reactivity changes. Furthermore, one RCS should be capable of returning the reactor to cold conditions and to hold the reactor subcritical under cold conditions. This includes compensating for power defect, moderator cooling and xenon decay. The requirements also include that, by insertion of control rods, the reactor can be returned to HZP conditions from any power level. Reactivity changes due to transitions from cold shutdown conditions to HFP conditions and vice versa, assuming reactor poison addition, should be accounted for.

There must be a sufficient amount of negative reactivity available for a reactor shutdown in all conditions to assure that fuel design limits are not exceeded. The shutdown margin is defined as the amount of

reactivity by which the reactor would be subcritical from the current condition, assuming that the highest worth control rod assembly (CRA) is stuck out and all other CRAs fully inserted. The RCSs combined must be able to provide a sufficient amount of negative reactivity to exceed the limit of the shutdown margin. Therefore, the control rods have Power Dependent Insertion Limits (PDILs) beyond which they are not inserted during normal operation. It is required in the Finnish Regulatory Guides on nuclear safety and security [4] (YVL) that no malfunction of an individual component, e.g., a reactivity control system, should result in a shutdown margin less than 1%.

### Modelling approach

The core geometry is built using the geometry routine of the Serpent code. The geometry routine follows the three-dimensional constructive solid geometry technique that utilizes elementary surfaces to form complex material cells. Serpent is also used to perform spatial homogenization for the reduced-order neutronics solver. The spatial homogenization is executed by dividing the core into node types and, for each node type, evaluating group constants that contain relevant information about the neutronics of the system. The group constants include, for instance, macroscopic reaction cross sections and diffusion parameters. For each fuel assembly, the group constants are evaluated in different axial setups present in the core. These setups include presence of control rods and grid spacers. Additionally, group constants are generated separately in different operating conditions (HFP/HZP and CZP). The neutron energies are condensed into the two-group energy structure, i.e., a thermal group and a fast group.

The group constants are obtained by running the Serpent nuclide composition calculation for each node type in different momentary condition variations, including fuel temperature, moderator temperature and boron concentration variations. Group constants for the radial and axial reflector are generated separately. The group constants generated with Serpent are parametrized with the SXSFit-tool to a format compatible with Ants. SXSFit finds the fitting coefficients

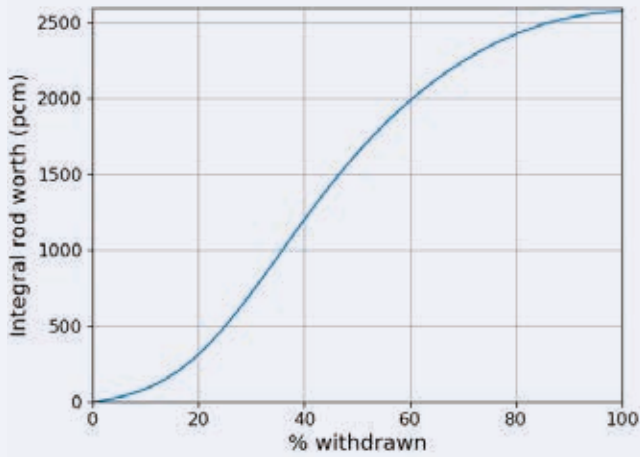


Figure 2: Integral control rod worth as a function of regulating bank 1 height in HZP.

for the group constants and converts the data into an appropriate format that can be applied to Ants as input.

The geometry of the full-core Ants model consists of the homogeneous calculation nodes. The Ants full-core calculations are run via Cerberus that allows running successive Ants simulations automatically in different setups, including control rod positionings. In HFP calculations, Cerberus is used for data transfer between Ants, Kharon and SuperFINIX. Kharon calculates the thermal hydraulics properties of the system, and SuperFINIX is used for evaluating fuel behaviour.

The capability of the control rods to maintain cold conditions is determined by calculating total available CRA worth as well as the shutdown margin in the CZP condition with zero boron concentration. The hot-shutdown capability of the control rods is evaluated by calculating total CRA worth in HFP. Reactivity changes due to moderator and fuel temperature variations between zero and full power are determined by calculating the difference in the core reactivity between HFP and HZP conditions. Reactor poisoning is accounted for by evaluating the equilibrium xenon concentration for HFP and calculating the reactivity difference in HZP between the zero xenon condition and the HFP equilibrium xenon condition. In this model, the power dependent insertion limits are based on the limits in NuScale, although specific limits for the model could be calculated separately.

**Results**

Integral control rod worth for Regulating Bank 1 (RB1) in HZP conditions is shown in figure 2. Capability for executing shutdown and maintaining shutdown conditions are characterized in table 1. The values in table 1 are evaluated with the HFP critical boron concentration (931 ppm). The total available CRA worth in HZP and CZP are calculated with zero xenon concentration, whereas equilibrium xenon concentration is used for the CRA worths in HFP. The net margin for hot shutdown describes the negative reactivity available,

Table 1: Capability for long-term shutdown.

Parameter	Reactivity (pcm)
1. Total Available CRA Worth:	
a. HFP Value	18187
b. HZP Value	18064
c. CZP Value	12453
2. PDILs:	
a. HFP Value	332
b. HZP Value	929
3. Highest worth CRA stuck out	5317
4. Power Defect	662
5. Moderator Cooling	924
6. Xenon Worth	2353
7. Net margin for hot shutdown (1.a. - 2.a. - 3. - 4.)	11876
8. Net margin for long-term shutdown (7. - 5. - 6.)	8599

Table 2: Individual CRA group worths with 931 ppm boron concentration.

Group	HFP (pcm)	HZP (pcm)
Regulating Bank 1	2687	2572
Regulating Bank 2	1877	1808
Shutdown Bank 3	3732	3654
Shutdown Bank 4	3732	3654

Table 3: Individual group worths with the regulating bank in PDILs with 893 ppm boron concentration.

Group	HFP (pcm)	HZP (pcm)
Regulating Bank 1	2561	2150
Regulating Bank 2	1798	1708
Shutdown Bank 3	3744	3674
Shutdown Bank 4	3744	3674

Table 4: Shutdown margin (SDM).

State	SDM (pcm)
HFP with critical boron	12871
HFP with zero boron	2185
HZP with critical boron	9470
HZP with zero boron	-1421
CZP with critical boron	4190
CZP with zero boron	-10068



assuming that the highest worth CRA is stuck out and the regulating bank is at the power dependent insertion limits (PDILs), while accounting for power defect.

For long-term shutdown capability, the positive reactivity resulting from moderator cooling to cold conditions and xenon decay are accounted for. The value of moderator cooling is determined by evaluating the change in reactivity between hot and cold conditions with zero xenon concentration. The value for xenon worth is calculated as the difference in reactivity in HZP between zero xenon concentration and the equilibrium concentration of HFP conditions. The power defect is obtained from the reactivity difference between HFP and HZP due to reactivity feedbacks.

Individual control rod group worths are presented in tables 2 and 3 for both HFP and HZP conditions. Table 2 shows individual group worths with other CRA groups withdrawn. In table 3, the group worths are evaluated with respect to the power dependent insertion limits using the critical boron concentration calculated in HFP with the regulating bank at PDILs (893 ppm).

The shutdown margin is determined in each condition (HFP, HZP and CZP) by calculating the reactivity by which the reactor is subcritical after insertion of all control rods, except for the highest worth CRA. The results are shown in table 4. In general, the design limit for the shutdown margin is determined by safety analysis for a specific reactor unit. In PWRs, the limit for the shutdown margin is generally 1–5%

[5]. With the critical boron concentration of the HFP conditions (931 ppm), the shutdown margin exceeds the requirement of a 1% (1000 pcm) minimum shutdown margin set in the Finnish Regulatory Guides on nuclear safety and security.

With zero boron concentration in zero power conditions, the reactor is supercritical with the control rods inserted, which appears in table 4 as a negative shutdown margin. Clearly, the 1%-limit is not exceeded with zero boron concentration in zero power conditions. On the other hand, it is stated in the Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants (NUREG-0800) that the RCSs should have the combined capability to provide a sufficient shutdown margin, which in cold conditions is fulfilled with the critical boron concentration. To reach criticality in zero power conditions, the boron concentration should be set to 119 ppm in HZP conditions and 656 ppm in CZP conditions. To further fulfil the required 1%-limit for the shutdown margin, the boron concentration would have to exceed 205 ppm in HZP conditions and 723 ppm in CZP conditions. Additional Kraken calculations could be executed to achieve the required limits for the shutdown margin in zero-power conditions by optimizing the core loading pattern.

*Artikkeli perustuu SYP2019:ssä julkaistuun paperiin, jossa kirjoittajina olivat Unna Lauranto, Ville Valtavirta, Antti Rintala ja Jaakko Leppänen.*

## References

- [1] N. Horelik, B. Herman, B. Forget, and K. Smith. "Benchmark for evaluation and validation of reactor simulations (BEAVRS)", v2. 0.2. In Proc. Int. Conf. Mathematics and Computational Methods Applied to Nuc. Sci. & Eng. 2013.
- [2] NuScale Standard Plant Design Certification Application, Part 2, Final Safety Analysis Report, Rev. 2, Chapter 4: Reactor, NuScale Power LLC, 2018.
- [3] "Standard Review Plan, Section 4.3 Nuclear Design," NUREG-0800, Rev. 3, U.S. Nuclear Regulatory Commission, March 2007.
- [4] "Regulatory Guides on nuclear safety and security, YVL A.6, Conduct of operations at a nuclear power plant," Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority, June 2019.
- [5] United States Department of Energy. DOE Fundamentals Handbook: Nuclear Physics and Reactor Theory. US Department of Energy, 1993.

## Writers



### **B.Sc. (Tech.) Unna Lauranto**

Research Trainee

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

unna.lauranto@vtt.fi

# Joustava ydinkaukolämpö

Miika Rämä

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Tulevaisuuden energiajärjestelmältä vaaditaan joustavuutta tuuli- ja aurinkoenergian osuuden lisääntyessä sähköntuotannossa. Joustava lämmön ja sähkön yhteistuotanto ydinvoimalaitoksella voi olla yksi osa ratkaisua, mikäli lähitöillä on riittävän suuri lämmön kysyntä kaukolämpöjärjestelmässä. Konsepti on mielenkiintoinen erityisesti Ranskassa, jossa uusituvan energian kasvusuunnitelmien myötä joustavuudelle on suuri tarve ja samalla ydinkaukolämmöllä olisi saavutettavissa suuria päästövähennyksiä.

As the share of wind and solar-based electricity production increases in future energy systems, more flexibility is required. Flexible co-generation in a nuclear plant can be part of the solutions as long as there is a heat demand to supply – on a scale of a city-wide district heating system. This concept is interesting especially in France, where the current targets for increasing the share of renewables translate into a need for flexibility in nuclear plants, and nuclear district heating could result in significant emission reductions.

Teknologian Tutkimuskeskus VTT:n ja ranskalaisen CEA:n (Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) välisen tutkijavaihdon tuloksena julkaistiin helmikuussa 2020 tieteellinen artikkeli Energy-lehdessä [1] koskien joustavaa yhteistuotantoa ydinvoimalaitoksessa ranskalaisessa toimintaympäristössä. Työn tuloksia esiteltiin jo alustavasti Suomalaisen Ydintekniikan päivillä 31. lokakuuta 2019 [2]. Tässä artikkelissa käydään läpi työn taustaa, sisältöä ja loppupäätelmiä.

## Ranskan energiasektori ja tavoitteet

Ydinvoimalla on hallitseva rooli Ranskan sähköntuotannosta. Sen osuus vuonna 2017 oli 72 % (379 TWh). Vesivoima ja lämpövoimalaitokset tuottivat sähköstä 10 % ja 12 %. Tuulivoiman osuus oli 4,5 % ja aurinkosähkön 1,7 % [3].

Lämmityssektorin osuus oli vuonna 2015 energian loppukäytöstä 45 % (515 TWh) [4]. Selkeästi suurimmat lämmönlähteet ovat kaasu (44 %) ja sähkö (33 %). Kaukolämmön osuus oli verrattain pieni (7 %), mutta toimitetun energian määrässä (25 TWh vuonna 2017) sektori on kuitenkin merkittävä [5, 6]. Verrattuna Suomeen ja kaukolämmön myyntiin (33,6 TWh) sekä varsinkin markkinaosuuteen (46 %) [7], Ranskan kaukolämpösektori on vielä kehittymässä. Suomen luvut ovat vuodelta 2016.

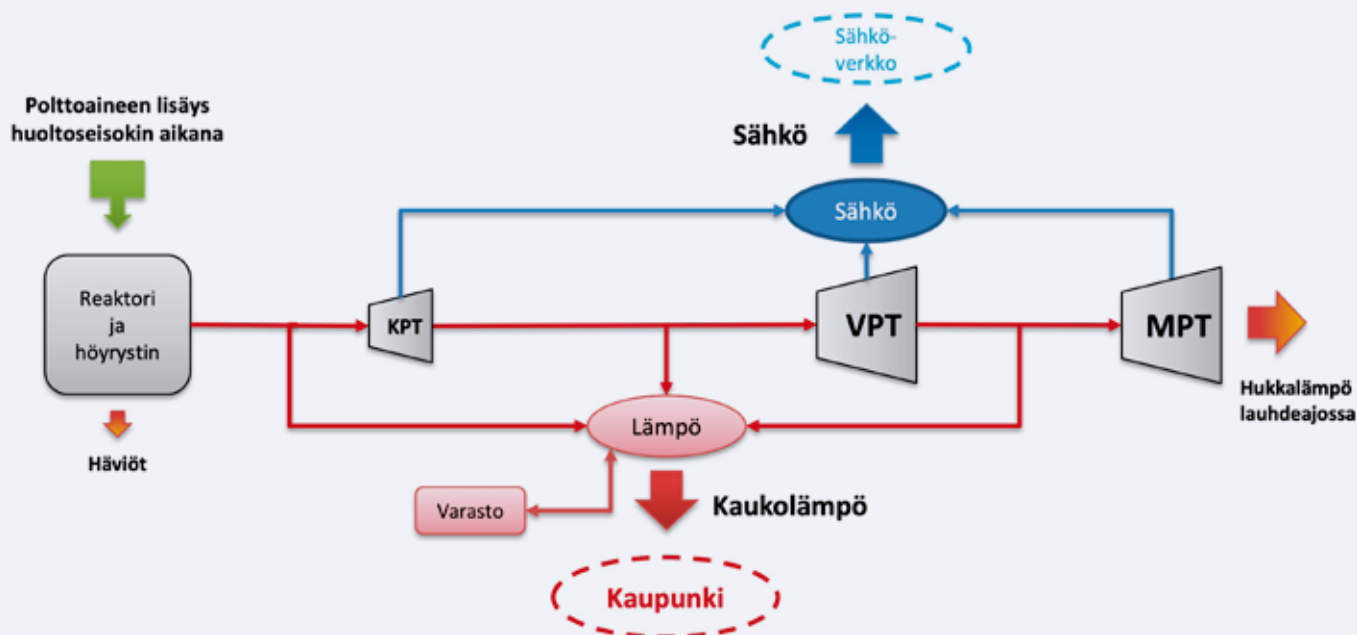
Ranskan energianpoliittisena tavoitteena on pienentää ydinvoiman osuutta 50 % tasolle sähköntuotannosta [8]. Alun perin tämän oli määrä tapahtua 2025 mennessä, mutta määräaika on sittemmin lykätty [9] vuoteen 2035. Poistuva ydinvoimakapasiteetti on tarkoitus korvata pääosin tuuli- ja aurinkoenergialla, mutta ydinvoiman lisärakentamista ei ole poissuljettu.

Uusiutuvan energian osuus Ranskan sähköntuotannossa tulee siis kasvamaan, mutta ei ole selvää laskeeko tämä päästöjä. Mikäli ydinvoima, siirtoyhteydet naapurimaihin ja muut joustomahdollisuudet eivät pysty tasaamaan kulutusta ja vaihtelevaa tuuli- ja aurinkosähkön tuotantoa, saatetaan tarvita esimerkiksi kaasuun perustuvaa uutta säätävää sähköntuotantokapasiteettia. Tämä lisäisi päästöjä. Ydinvoimalaitokset osallistuvat toki sähköjärjestelmän säätöön Ranskassa jo nyt, mutta ydinvoimalaitosten teknistaloudellinen kannattavuus heikkenee säätötarpeen kasvaessa. CEA:n Camille Cany arvioi väitöstutkimuksessaan [10] vaihtelevan uusiutuvan sähköntuotannon kriittisen rajan kulkevan 30 % kohdalla. Mikäli tuulen ja auringon osuus on tätä korkeampi, ydinvoimalaitosten toiminta säätävässä roolissa muuttuu taloudellisesti mahdottomaksi. Kustannuspaineita toki syntyy jo ennen tätä. Camille Cany ehdottaa ratkaisuksi lämmön- ja vedyntuotannon hyödyntämistä sivutuotteina.

Tässä artikkelissa esitetty työ on jatkumoa Camille Canyn päätelmille sekä Martin Leurentin (CEA) väitöstutkimukselle [11], jossa puolestaan arvioitiin ydinkaukolämpöä lämmityssektorin päästövähennyskeinona Ranskassa ja Euroopassa.

## Joustava yhteistuotanto ydinvoimalassa

Perinteisesti ydinvoimalan suunnitteluperusteena on maksimoida sähköntuotanto. Yhteistuotannon tapauksessa luovutaan osasta sähköntuotantoa, jotta voidaan tuottaa lämpöä esim. kaukolämmön tarpeisiin riittävän korkeassa lämpötilatasossa. Joustavan yhteistuotannon konseptissa puolestaan hyödynnetään väliottoja eri vaiheessa höyrykiertoa, jolloin lämmön- ja sähköntuotannon suhdetta voidaan ohjata vapaammin. Väliotot ovat yleisesti käytössä höyryvoimalaitoksissa ja myös ydinvoimalassa niitä hyödynnetään höyryn välitulitukseen. Lisäksi konseptin



Kuva 1. Ydinvoimalan joustavan yhteistuotannon toimintaperiaate. Höyryturbiini on jaettu tässä kolmeen osaan: korkeapaineturbiiniin (KPT) sekä turbiinin väli- (VPT) ja matalapaineosaan (MPT).

mukaisessa joustavassa yhteistuotannossa ovat mukana suuren mittakaavan lämpövarastot, jotka on oletettu tutkimuksessa toteutettavaksi vesisäiliöinä. Nämä lämpövarastot lisäävät laitoksen joustavuutta sallimalla lämpökuormaa suuremman lämmöntuotannon (varastoja ladataan), jolloin sähköntuotantoa vähennetään. Vastaavasti voidaan tavoitella suurempaa sähköntuotantoa, jolloin lämpövarastoja voidaan osaksi purkaa lämmöntarpeen kattamiseksi. Kuvassa 1 on visualisoitu laitoksen perustoimintaperiaate.

### Tapaustarkastelut Ranskassa

Esitetyn kaltaista joustavaan yhteistuotantoon perustuvaa kaukolämpökytkentäistä ydinvoimalaitosta tutkittiin Ranskassa kolmessa eri kohteessa: Pariisissa, Lyonissa ja Dunkirkissä. Kohteet valikoituvat tutkimukseen kaupungin ja ydinvoimalan kohtuullisen etäisyyden sekä kaupungissa olemassa olevan kaukolämpöjärjestelmän perusteella. Pariisia lukuun ottamatta kaikissa kohteissa kaukolämpöjärjestelmä on vielä toistaiseksi ydinvoimalaitokselta potentiaalisesti saatavaan lämpötehoon nähden pieni. Näin ollen tutkimuksessa tarkasteltiin kau-

kolämmön potentiaalinen mukaisia tulevaisuuden järjestelmiä. Lämmön kysynnän rajoitusten takia kustakin laitoksesta mukana on ainoastaan yksi yksikkö. Taulukkoon 1 on koottu merkittävimmät eri kaupunkeja ja laitoksia koskevat tiedot, mukaan lukien siirtolinjan investoinnin ja lämmön hyödynnettävyyden huomioiva optimaalinen kapasiteetti laitoksen ja kaupungin väliselle putkikytydelle.

Kukin laitos mallinnettiin erikseen käyttäen menetelmänä sekalukuoptimointia. Laitosparametrien lisäksi tärkeimpinä lähtötietoina annettiin tunneittaiset kaukolämmön kokonaiskysyntää sekä arvioituja sähkön hintaa Ranskan tulevaisuuden energijärjestelmässä vastaavat aika-sarjat. Tulevaisuuden tuotantotavat ja sähkön hinta-aikasarjat perustuvat Réseau de Transport d'Électricité (RTE) tutkimukseen ja korkean uusiutuvan energian osuuden skenaarioon (Amperé-skenaario) [12].

Mallinnuksen tavoitteena oli selvittää miten ja kuinka paljon ajotavan ja lämpövaraston tarjoamaa joustavuutta kannattaisi hyödyntää sekä arvioida millainen osuus kaukolämmön tuotannossa konseptin mukaisella ydinvoimalaitoksella kussakin järjestelmässä olisi.

Taulukko 1. Kolmea tarkasteltua tapausta kuvaavat parametrit.

Laitos (sijainti)	Yksikön sähköteho	Etäisyys kaupunkiin	Tulevaisuuden kaukolämmöntarve	Siirtolinjan kapasiteetti	Lämpövaraston koko
Nogent-sur-Seine (Pariisi)	1 310 MWe	90 km	19 839 GWh	2 200 MW	13 200 MWh
Bugey (Lyon)	910 MWe	30 km	5 686 GWh	1 300 MW	7 800 MWh
Graveline (Dunkirk)	910 MWe	15 km	734 GWh	200 MW	1 200 MWh



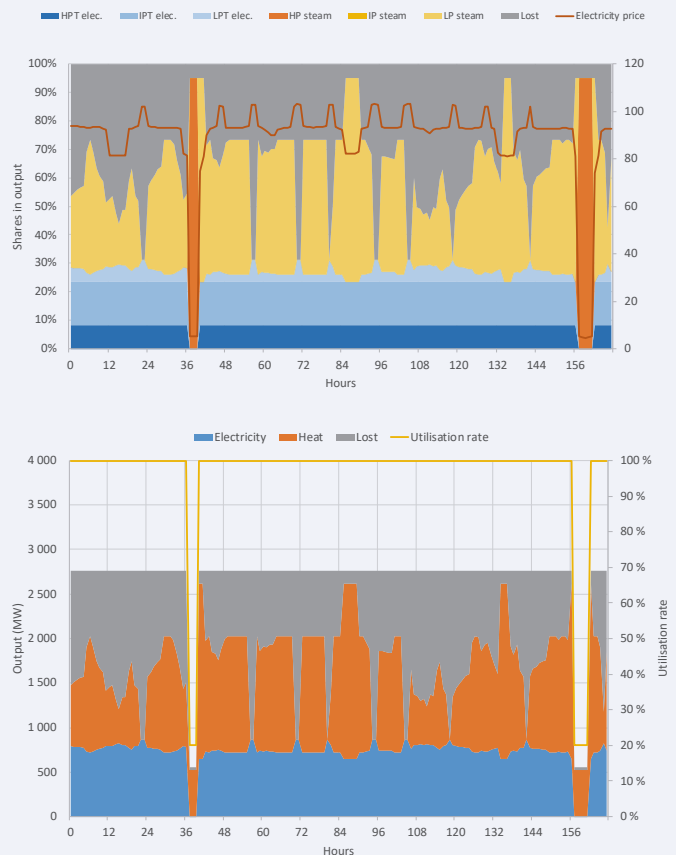
Kuva 2. Kuukausittainen sähkön ja lämmön (korkea-, väli- ja matalapainehöyry) tuotanto kullekin laitokselle.

### Päätulokset ja johtopäätökset

Kuvassa 2 on esitetty kunkin laitoksen kuukausittainen sähkön ja lämmön tuotanto sekä hukattu lämpö. Palkeista nähdään selvästi eri tapausten ero kaukolämpöjärjestelmän koon suhteen. Pariisissa lämpöä voidaan hyödyntää merkittäviä määriä ja laitoksen kokonaishyötysuhde nousee 70 % saakka. Lyonissa kokonaishyötysuhteeksi saadaan 54 %, kun taas Dunkirkin hyötysuhde jää vain 34 % tasolle. Lisäksi Dunkirkin kuvasta voidaan nähdä, ettei korkea- ja matalapaineturbiinien välistä oteta juuri lainkaan höyryä: vain 0,1–0,2 % lämmöntuotannosta. Tämän välioton voi siis todeta olevan konseptin kannalta turha.

Kuvassa 3 on esitetty viikon mittainen esimerkkijakso talvikaudella Lyonin tapaukselle. Esimerkistä nähdään kuinka laitos reagoi vaihtelevaan sähkönhintaan (punainen katkoviiva ylemmässä kuvassa). Sähkön hintapiikkien aikaan laitos tuottaa maksimikapasiteetilla sähköä ja tarvittava kaukolämpö tuotetaan lämpövarastoja hyödyntäen. Sähkön hinnan laskiessa tuotetaan taas lämpöä varastoon. Todella matalilla sähkönhinnoilla ei tuoteta sähköä lainkaan vaan korkeapainehöyryä käytetään lämmöntuotantoon. Suurimman osan aikaa lämmöntuotanto seuraa kaukolämmön kysyntää.

Laitoksien yhteydessä olevia lämpövarastoja käytetään kaikissa tapauksissa ahkerasti. Varastosykli eli laskennalliset lataus/purkaus-kierrot ovat Pariisin ja Lyonin noin sadasta syklistä Dunkirkin 143 sykliin vuodessa. Näin tehokas käyttö tekee varastoista hyviä investointeja suuresta kapasiteetista huolimatta, osaltaan johtuen myös



Kuva 3. Viikon esimerkkijakso (Bugey, Lyon) lämmityskaudelta laitoksen ajotavasta vaihtelevilla sähkönhinnoilla ja kaukolämmön kysynnällä.



lämmön varastoinnin edullisesta yksikkökustannuksesta. Korvattavan lämmönlähteen (kaasu) kustannustaso ja toisaalta ydinvoimalan käyttökustannukset huomioiden pelkästään varaston takaisinmaksuajaksi saadaan 2–3 vuotta.

Tulokset osoittavat, että konsepti toimii oletetusti ja sillä saavutetaan selvästi hyötyjä ydinvoimalan joustavuuden lisääntyessä. Edellytyksenä on kaupungin laajuinen kaukolämpöjärjestelmä tai muu lähistön merkittävä lämpökuorma. Pienydinvoimalat (SMR) voivat toki samalla konseptilla saavuttaa samat hyödyt pienemmilläkin lämpökuormilla.

Ranskan näkökulmasta myös itse kaukolämpöjärjestelmissä on paljon kehittämistä, esimerkiksi Pariisin kaukolämpöjärjestelmien

yhdistämisessä ja modernisoinnissa. Lisäksi kymmenien prosenttien vaihtelevan uusiutuvan sähköntuotannon osuus tarkoittaa, etteivät esitetyt kolme laitosta pysty vastaamaan koko joustavuuden tarpeesta. Tarkasteltujen yksiköiden yhteenlaskettu sähköteho eli periaatteellinen maksimijousto on reilu 3 GW kun taas esimerkiksi edellä mainittu korkean uusiutuvan energian osuuden skenaario Amperé sisältää pelkästään aurinkovoimaa 48 GW. Joka tapauksessa on selvää, että kuvattun kaltaisella laitoskonseptilla on etuja perinteiseen peruskuormaksi suunniteltuun ydinvoimalaan verrattuna paljon vaihtelevaa uusiutuvaa sähköntuotantoa sisältävässä tulevaisuuden energijärjestelmässä.

## Viitteet

- [1] Rämä M, Leurent M, Devezeaux de Lavergne J-G. Flexible nuclear co-generation plant combined with district heating and a large-scale heat storage. *Energy* 2020;193:116728. doi:10.1016/J.ENERGY.2019.116728.
- [2] Rämä M. Presentation: Flexible nuclear co-generation as a heat supply for district heating. SYP2019 2019. [https://ats-fns.fi/images/files/2019/syp2019/presentations/TSMR1\\_MRämä\\_FlexibleNuclearCo-generationAsAHeatSupplyForDistrictHeating.pdf](https://ats-fns.fi/images/files/2019/syp2019/presentations/TSMR1_MRämä_FlexibleNuclearCo-generationAsAHeatSupplyForDistrictHeating.pdf) (accessed February 13, 2020).
- [3] RTE. Electricity Report 2017 2018:118. [https://www.rte-france.com/sites/default/files/rte\\_elec\\_report\\_2017.pdf](https://www.rte-france.com/sites/default/files/rte_elec_report_2017.pdf) (accessed January 8, 2019).
- [4] Adriana S, Frost R, Vad B, Chang A, Reinert U, Aristeidis I, et al. Heat Roadmap France 2018.
- [5] Tignol E, Barral J, Moulem Y, Fatet E, Reynaud C. Comparatif des modes de chauffage et Prix de vente de la chaleur 2013. [http://www.amorce.asso.fr/media/filer\\_public/ae/be/aebe0ce1-0814-4a10-be83-d5dfdd2cbbcc/rce25\\_-\\_comparatif\\_modes\\_chauffage\\_et\\_prix\\_de\\_vente\\_chaleur\\_2014.pdf](http://www.amorce.asso.fr/media/filer_public/ae/be/aebe0ce1-0814-4a10-be83-d5dfdd2cbbcc/rce25_-_comparatif_modes_chauffage_et_prix_de_vente_chaleur_2014.pdf) (accessed January 18, 2019).
- [6] SNCU. Les réseaux de chaleur et de froid 2018:86. [https://www.fedene.fr/wp-content/uploads/sites/2/2018/12/20171214\\_Rapport-global\\_restitution-enquete-2018-donnees-nationale-2017\\_v1.1.pdf](https://www.fedene.fr/wp-content/uploads/sites/2/2018/12/20171214_Rapport-global_restitution-enquete-2018-donnees-nationale-2017_v1.1.pdf).
- [7] Finnish Energy. District heating statistics 2016. Mater Bank 2017. [https://energia.fi/files/2086/Vuositalukot16\\_netto.xls](https://energia.fi/files/2086/Vuositalukot16_netto.xls) (accessed October 15, 2018).
- [8] République française. LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte 2015. <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/2015/8/17/2015-992/jo/texte> (accessed January 8, 2019).
- [9] Ministère de la Transition écologique et Solidaire. Stratégie française pour l'énergie et le climat 2018:33. [https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2018.11.27\\_MTES\\_dp\\_PPE\\_SNBC\\_strategiefrancaiseenergieclimat.pdf](https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2018.11.27_MTES_dp_PPE_SNBC_strategiefrancaiseenergieclimat.pdf).
- [10] Cany C. Interactions between nuclear and variable renewable energies in the French energy transition : adapting the power mix towards more flexibility. Dr Diss 2017. <https://hal.inria.fr/tel-01565665/> (accessed February 12, 2020).
- [11] Leurent M. Nuclear plants as an option to help de-carbonising the European and French heat sectors? A techno-economic prospective analysis. Dr Diss 2018. [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:50001591](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:50001591) (accessed February 12, 2020).
- [12] RTE. Bilan prévisionnel 2017. [https://www.rte-france.com/sites/default/files/bp2017\\_synthese\\_17.pdf](https://www.rte-france.com/sites/default/files/bp2017_synthese_17.pdf) (accessed January 8, 2019).

## Kirjoittaja



**DI Miika Rämä**

Tutkimustiimin päällikkö  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
miika.rama@vtt.fi

# Pro gradu: VTT:n käytöstäpoistojätteiden pitkäaikaisturvallisuusanalyysi

Juha Pitkäoja  
Fortum Power and Heat Oy

Tässä pro gradu -tutkielmassa tutkittiin FiR 1 -tutkimusreaktorin ja Otakaari 3 -laboratorion käytöstäpoistojätteiden loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta Loviisan voimalaitoksen loppusijoitustilaan. Radionuklidien kulkeutuminen ja niistä aiheutuvat säteilyannokset mallinnettiin Ecolegolla, ja käytöstäpoistojätteistä aiheutuva annosnopeus jäi reilusti alle viranomaisrajoitusten.

This master's thesis considered the disposal of the decommissioning wastes of FiR 1 research reactor and Otakaari 3 laboratory to Loviisa LILW (Low- and Intermediate-Level Waste) repository. The radionuclide transport was modelled with Ecolego and the annual dose rate arising from the wastes was significantly lower than the regulatory constraint.

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy on aloittanut FiR 1 (Finland Reactor 1) -tutkimusreaktorin ja Otakaari 3 (OK3) -materiaalitutkimuslaboratorion käytöstäpoistoprojektin, jonka yhteydessä syntyy ydinjätettä ja muuta radioaktiivista jätettä. Jätteiden loppusijoittamisesta ei toistaiseksi ole solmittu sopimuksia, mutta niiden yksi mahdollinen loppusijoituspaikka on Loviisan voimalaitoksen loppusijoitustila.

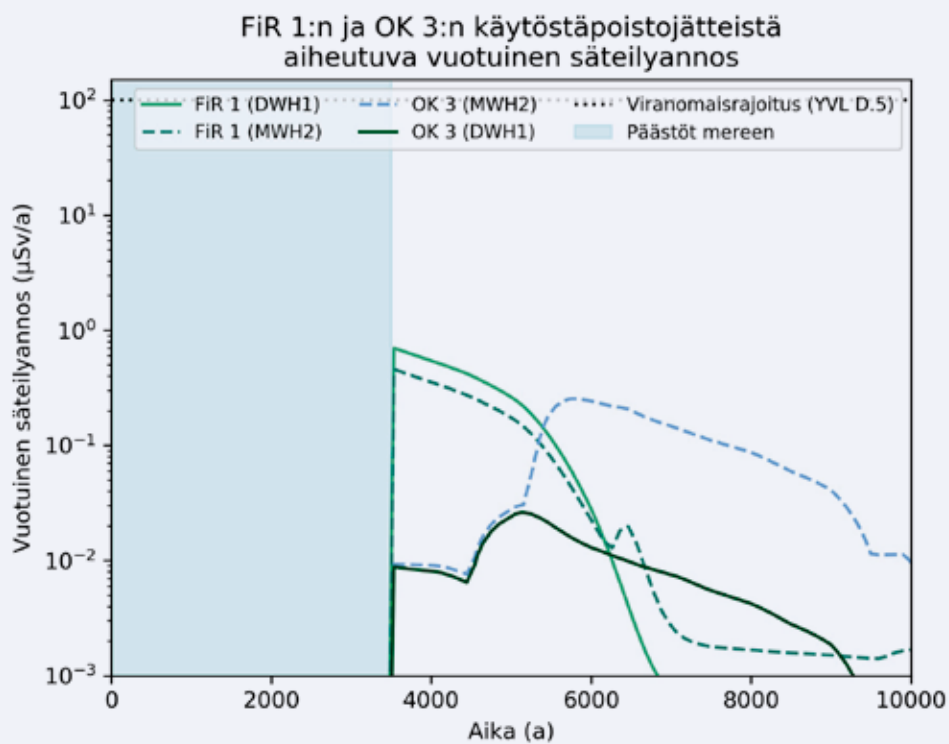
## Jättilan valinta vaikuttaa lopputulokseen

Pitkäaikaisturvallisuusanalyysi vaatii, että loppusijoitusjärjestelmän ja jätteiden kehitys tarkastelujakson aikana on mallinnettava matemaattisesti, mihin tässä työssä käytettiin Ecolego-mallinnusohjelmistoa. Jätteiden loppusijoitukseen on valittu kaksi mahdollista jättilaa, jotka ovat huoltojättila 2 (MWH2) ja käytöstäpoistojättila 1 (DWH1). Jätteiden loppusijoittaminen eri jättiloihin johtaa erilaisiin tuloksiin, sillä jättilat ovat erilaisia. Käytöstäpoistojättila 1:een on suunniteltu betonikaukalo, joka hidastaa aktiivisuuden vapautumista, kun taas huoltojättila 2:ssa jätteitä ei suojata.

## Jätteistä ei aiheudu merkittäviä säteilyannoksia

Kuvassa 1 esitetään FiR 1:n ja OK3:n käytöstäpoistojätteistä aiheutuva vuotuinen säteilyannos eniten altistuvalla väestöllä perusskenaarion referenssilaskentatapauksessa. Eniten altistuvalla väestöllä tarkoitetaan omavaraisia henkilöitä, jotka elävät loppusijoitustilan välittömässä läheisyydessä. Tulokset riippuvat loppusijoitusjärjestelmän ja jätepakkausten evoluutiosta. Evoluutio perustuu vuoden 2018 Loviisan turvallisuusperusteluun. Ensimmäisen 3700 vuoden aikana loppusijoitustilan sulkemisesta päästöt kulkeutuvat mereen, minkä takia säteilyannokset jäävät hyvin pieniksi. Perusskenaarion lisäksi tarkasteltiin myös muita skenaarioita ja laskentatapauksia, jotka voisivat johtaa korkeampiin tuloksiin, mutta kaikissa tapauksissa tulokset kuitenkin olivat alle 2 % viranomaisvaatimuksista.

*Pro gradu -tutkielma on hyväksytty Jyväskylän yliopistossa joulukuussa 2019.*



Kuva 1. FiR 1:n ja OK3:n käytöstäpoistojätteistä aiheutuva vuotuinen säteilyannos eniten altistuvalla väestöllä Loviisan loppusijoitustilan kahdesta jätetilasta. Jätteistä aiheutuva säteilyannos on tuhansia kertoja pienempi kuin suomalaisen päivittäinen keskimääräinen säteilyannos.

#### Kirjoittaja



**FM Juha Pitkäoja**  
 Polttoaineinsinööri  
 Fortum Power and Heat Oy  
 juha.pitkaoja@fortum.com

# Diplomityö: Epävarmuus- ja herkkyysanalyysi ydinvoimalaitoksen sydän- ja laitosmalleille

Rebekka Komu  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

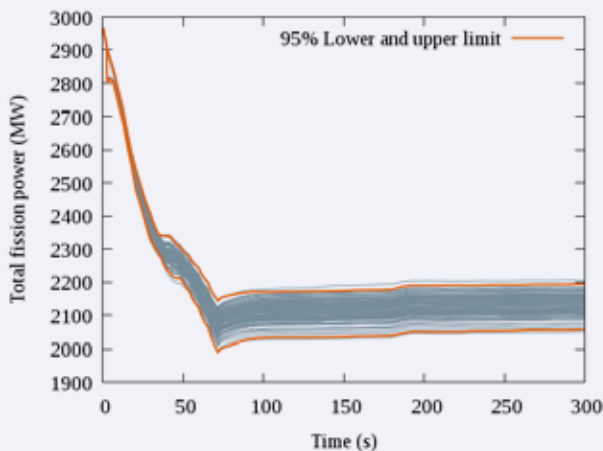
Diplomityössä tehtiin epävarmuus- ja herkkyysanalyysit VVER-1000-reaktorin sydän-, laitos- ja yhdistetylle sydän-laitosmallille tarkoituksena tunnistaa epävarmuuden lähteet kussakin tapauksessa. Samalla kehitettiin työssä käytettyjä herkkyysanalyysityökaluja ja -malleja.

Uncertainty and sensitivity analyses were performed for the separate core, system thermal-hydraulics and coupled core-system models of a VVER-1000 plant in this thesis. The objective was to identify the sources of uncertainty in each case. In conjunction with this work, the sensitivity analysis methods and models were improved.

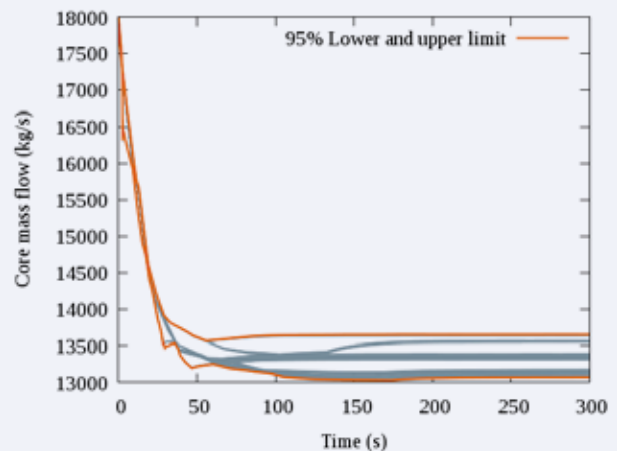
Turvallisuusanalyysit ovat olennainen työkalu ydinvoimalaitoksen turvallisuuden takaamiseen sen suunnittelun, lisensoinnin ja käytön aikana. Viime vuosikymmenten aikana ydinalalla on ollut kasvava mielenkiinto korvata konservatiiviset turvallisuusanalyysit parhaan arvion (best-estimate) analyyseillä niiden epävarmuusrajojen kanssa (best-estimate plus uncertainty, BEPU).

## Analyysit eri laskentamalleille

Epävarmuus- ja herkkyysanalyysin tarkoituksena on tunnistaa monimutkaisen mallin epävarmuuden lähteet ja määrittää, kuinka ne vaikuttavat lopputulokseen. Analyysit tehtiin irtosydän-, laitos- ja yhdistetylle sydän-laitosmallille käyttäen vastaavasti HEXTRAN [1], TRACE [2] ja yhdistettyä HEXTRAN-SMABRE [3] koodeja. Koodeista HEXTRAN ja



Kuva 1. Kokonaisteho transientin aikana laskettuna HEXTRAN-SMABRE:lla. Tehoon vaikutti syöteparametreista eniten kaasuraon lämmönjohtavuus.



Kuva 2. Massavirta sydämen läpi laskettuna HEXTRAN-SMABRE:lla. Homologiselle pumppukäyrälle annettiin viisi eri vaihtoehtoa, mikä aiheutti massavirtatulosten jakautumisen erillisiksi käyräparviksi.

SMABRE ovat VTT:n kehittämiä, kun taas TRACE on NRC:n (Nuclear Regulatory Commission) kehittämiä.

Mallinnettu tapaus oli venäläisellä Kalinin-3-ydinvoimalaitoksella suoritettu koe [4], jossa yksi neljästä pääkiertopumpusta sammutettiin täydeltä tehotasolta. TRACE on VTT:llä transienttiallyseihin uusi koodi, joka otettiin käyttöön osana tätä työtä, ja Kalinin-3-mallin kehitys koodille aloitettiin. Työn tavoitteena oli tunnistaa tärkeimmät epävarmuuden lähteet kussakin mallissa, verrata käytettyjen herkkyysanalyysityökalujen ominaisuuksia ja tunnistaa, tulisiko malleja ja työkaluja parantaa jotenkin.

Epävarmuus- ja herkkyysanalyysiin käytettiin tilastollista menetelmää, jossa epävarmoiksi tunnistetuille syöteparametreille annettiin todennäköisyysjakaumat ja useita simulaatiota suoritettiin poimien kullekin ajolle syöteparametrien arvot satunnaisesti jakaumista. Tuloksille saatiin jakauma ja luottamusväli, jolle 95% tuloksista sijoittuu 95% todennäköisyydellä. Syöteparametrien ja tulossuureiden väliset riippuvuudet laskettiin käyttäen tunnuslukuina järjestyskorrelaatiokerrointa ja osittaista järjestyskorrelaatiokerrointa.

### Syötemuuttujien vaikutukset tunnistettiin

Jokaisessa mallissa havaittiin pari syötemuuttujaa, jotka vaikuttivat tuloksiin kaikkein eniten: irtosydänmallissa jäähdytteen sisäänmenolämpötila ja kaasuraon lämmönjohtavuus, laitosmallissa nesteen ja seinämän välinen lämmönsiirtokerroin ja putkien kitkakerroin, sekä yhdistetyssä sydän-laitosmallissa kaasuraon lämmönjohtavuus ja homologinen pumppukäyrä. Neutroniikkaepävarmuuksien huomioonottaminen lisäsi keskihajontaa huomattavasti, mistä voi päätellä ison osan epävarmuuksista tulevan tässä tapauksessa aiemmista laskentavai-

heista. Tuloksien keskihajonta oli kaikissa tulossuureissa pienempi tai korkeintaan yhtä suuri kuin mittausvirhe, eikä mikään simulaatioista johtanut uusiin skenaarioihin tai odottamattomiin tuloksiin. Tämä saattaa johtua mallinnetun tapahtuman lievydestä tai siitä, ettei tapahtuma sisällä paljon epävarmuuksia.

Diplomityön yhteydessä VTT:n työkalua epävarmuus- ja herkkyysanalyysin tekemiseen saatiin kehitettyä, mistä on tulevaisuudessa hyötyä etenkin, mikäli BEPU-analyysien käyttö turvallisuusanalyysissä lisääntyy. Uudelle koodille, TRACE:lle, saatiin luotua toimiva VVER-1000-reaktorin malli, mikä kylläkin vaatii vielä hiomista jatkokäyttöä varten. Mielenkiintoista on nähdä, miten työn tulokset vertautuvat muihin tapauksesta tehtyihin analyysiin.

*Opinnäyte hyväksytty Oulun yliopistossa 9.12.2019.*

### Viitteet

- [1] Kyrki-Rajamäki, Riitta. Three-dimensional reactor dynamics code for VVER type nuclear reactors. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland, 1995. VTT Publications 246. Dr.Tech. Thesis. 51 p. + app. 80 p.
- [2] U.S. Nuclear Regulatory Commission. TRACE V5.0 Patch 5 Theory Manual – Field Equations, Solution Methods, and Physical Models. Washington, DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- [3] Miettinen, Jaakko. Thermohydraulic model SMABRE for light water reactor simulations. Helsinki: Helsinki University of Technology, 2000. Licentiate thesis. 151 p.
- [4] Tereshonok, V.A., Nikonov, S.P., Lizorkin, M.P., Velkov, K., Pautz, A. & Ivanov, K. Kalinin - 3 Coolant Transient Benchmark - Switching-off of One of the Four Operating Main Circulation Pumps at Nominal Reactor Power. OECD Nuclear Energy Agency, 2008. NEA/NSC/DOC(2009)5. 95 p.

### Kirjoittajat



**DI Rebekka Komu**

Tutkija

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
rebekka.komu@vtt.fi



# Onko ydinvoimarakentamisessa enää järkeä?

**YDINVOIMARAKENTAMINEN** Euroopassa on hukannut järjen. Ydinvoimaonnettomuuksien seurauksena on turvallisuusjärjestelmien suunnittelu ja varmennus noussut yli tarpeen. Uudet varmennekset tekevät teoreettisia, paperinmakuisia kuvioita, varmentaen toimintoja teoreettiselle tasolle kerran 10 tai 100 miljoonassa vuodessa. Fukushima onnettomuuteen johtanut valtava tsunamiaalto iskee Japanin rannikolle kerran 100 vuodessa. Vastaava riski olisi otettu Euroopassa huomioon monella tasolla ydinvoiman suunnittelussa! Japanilainen on elänyt vuosisatoja suurten ympäristöriskien kanssa ja yhteiskunta määrittää varautumisen tason. Eurooppalainen ei aina muista, että monessa yhteiskunnassa ympäristökatastrofin, sodan tai väkivallan riski on huomattava ja se arvottaa varautumisen tasoa.

Ihmettelijät ja vihreät poliitikot tarjoavat ydinvoimarakentamisen kalleudelle Euroopassa selitykseksi turvallisuusvaatimuksia. Ei tunnusteta Kiinassa ja Koreassa rakennettavan lähes saman turvallisuustason laitoksia vain puolella Euroopan kustannuksista ja kolmanneksella rakennusajoista. Olisikohan jokin pielessä itse projektin tekemisessä?

Sen sijaan, että projekti tuottaisi dokumentit omien johtamismalliensa ohjaamina, kaikkivaltias viranomainen ohjaa kaikkea ja toinen toistaan seuraavat, kiireettömät hyväksymisvaiheet venyttävät projektia loputtomiin. Viranomaisen tarkastuksen pitäisi olla viimeinen kirsikka kakun päälle, ei hiiva, jolla kakku nostatetaan täyteen kokoonsa tai vatkein, jolla ainekset sekoitetaan alussa. Toisaalta viranomaisvaatimukset ja niistä tulleet uudet mausteet muovaavat taikinaa koko ajan. Usein taikina ei edes ala kohota pitkään aikaan. Ei ihme, että ydinvoimaprojektit jahtaavat omaa häntäänsä ja kiertävät kehää vuodesta toi-

seen. Tieto projektissa kulkee monen välikäden kautta ja kaikki mahdolliset projektin osat osallistuvat tähän kalliiseen ”rikkinäinen puhelin”-leikkiin.

Usein projektikokonaisuuksien ajoitukset jätetään viranomaiselle, jolla ei ole velvollisuuttaakaan selittää suomalaista vaatimusten logiikkaa ulkomaiselle toimittajalle. Ruotsin mallin mukaan projektien tekijöinä on yhä enemmän konsultteja. Konsulttien intressissä ei ole aina tehdä asiaa nopeasti ja suoraviivaisesti, vaan maksimoida oman organisaation työ- ja rahamäärä. Konsultit saattavat myös olla oman maansa tai ylikansallisen amerikkalaisen toimintamallin orjia. Tekemisen mallit palaavat usein Suomen ydinvoiman alkuun 60-luvulle, jolloin tietoa haettiin ja kopioitiin ”rapakon” takaa. Konsultit, jotka eivät ole koskaan tehneet yhtään oikeaa projektia, opettavat jenkki-standardeihin perustuvia prosesseja ja ”avaimet käteen”-projektin edut on myyty myös suomalaiselle ydinvoimalaitoksen omistajalle. Pitäisi muistaa jenkki-standardien perustuneen aina lakitupaosaamiseen.

Uusin konsulttien, viranomaisen ja standardien rikkaruoho on lukuisat, riippumattomat ryhmät, jotka on perustettava ylenkatsomaan vierestä ja sivulta milloin mitään aihetta. Se, että todella riippumattomat, kaupan alueen asiantuntijat vaativat uuteen, koskaan kokeilemattomaan toimintamalliin siirtymistä, ei edistä nopeaa tekemistä ja resurssien kohdennusta. Kaiken tuloksena on vain se, että uusia ja vanhoja toteutustapoja ja toimintamalleja sekoitetaan yhdistetyksi liha-kala-nakki-sienikeitoksi. Viranomaisohjeiden vaatimuksia luetaan projekteissa ”leipäpapin tavoin” – turvallisuusratkaisun henkeä ja tarkoitusta pohtimatta. Viranomaisen vaatimukset, tarkastukset ja usein tarpeeton ohjaus on suunnattu tekemisen tapaan, ei lopputuloksen tarkastukseen. Jos tulipalo sammuu helposti,

nopeasti ja turvallisesti, voiko se olla ”väärin sammutettu”?

70-luvun suomalaiset ydinvoimaprojektit pohjasivat omaan ajatteluun, ei tuontimallien sokeaan jäljittelyyn. Osallistuminen tehokkaaseen projektiin muutti joskus myös henkisesti – ei kasvattanut tai kehittänyt, mutta muutti! Kirjoittaja ihmetteli aikanaan Suomen ydinvoimaprojekteja johtaneiden kavereiden joskus turhan epäkohteliasta ja suoraviivaisista tyyliä. Vuodet tahmeita ydinvoimaprojekteja katsellen ovat saaneet kaipaamaan tuota osaavaa ja ripeää ”management by perkele”-johtamistyyliä! Nyt osa toimijoista on oppinut vähintään 10–15 vuoden prosessit, eikä muuta osata. Ennen projektipäällikkö oli henkilö, jonka mielestä yhdeksän naista voi yhdessä synnyttää lapsen yhdessä kuukaudessa.

Tarkasteltaessa onnistuneita ydinvoimaprojekteja, kuten Loviisan käyvien laitosten projektia ja kiinalaisten ydinlaitosprojekteja, on niistä helppo löytää samat toimintamallit ja menettelyt. Euroopan ydinlaitoshankkeissa on päästy tilanteeseen, jossa viranomaisten vaatimukset ohjaavat toimintaa yli 20 vuoden toteutusaikaan. Hankkeiden työllistävä vaikutus on tietysti hyvä!

On tietysti todettava hitaudella olevan hyviäkin puolia. Ydinvoimasuunnittelu ei tuota samoja tuloksia kuin lentokonehanke, jossa paranneltu lentokonetyyppi satoine matkustajineen sukeltaa automaattisesti mereen, kun yksi – siis vain yksi – muutaman kymmenen euron anturi vikaantuu. Olisikohan antureita voinut asentaa useamman siipeä kohti? Tuon lentokoneen sukellusautomaatikasta ei turhaan annettu kallista koulutusta lentäjille tai mainittu ohjekirjoissa. Ydinvoimapuolella ei varmaan selviäisi ilman kunnon linnakakua moisesta suunnittelusta ja ohjeistosta!



*Kaksi vuosikymmentä tarponut OL3-projekti tuo kohta sähköä Suomen talveen (kuva: TVO, 2010).*

Ihmisen toiminnan ymmärrys on hukassa ajassamme. Tekniikan ja ihmisen yhteistoimintaan pätee aina, että liikaa varmennettaessa ihminen uskoo kaiken olevan varmennettu, myös heidän oman piittaamattomuutensa. Ajettaessa tulevaisuuden autoa, jossa on "täydellinen" jalankulkijan tunnistus, ajamisen huolellisuus unohtuu. Onneksi auton systeemi tunnistaa jalankulkijan auton alta ja varaa hänelle kauniin muistotilaisuuden sekä nimetyn hautapaikan kuljettajan laskuun. Esimerkkejä ihmisen luottamuksesta tekniikkaan löytyy maailmalta paljon. Kaikki muistavat, kuinka tuhkakupit puuttuivat keskiaikaisen kirkon parvelta, joten tupakan natsat lensivät 1000-vuotiselle puulattialle. "Kyllä kivikirkko kestää ja automaattinen hälytys toimii aina", varmaan ajatteli tuo Pariisin Notre Dame -kirkon vintillä tupakoinut katon korjaja. Heti perään saman kirkon vartija totesi palohälytyksen olevan turha, kun tulipalaa ei heti näkynyt käytävälle.

Aikojen muuttuessa ovat myös kansakuntien johtajat muuttuneet. Aiemmin johtaja piti

huolta, että kaikki huomaavat tärkeän, yhteiskunnallisen päätöksen olevan juuri hänen tekemänsä; uudet "tosi-TV" ja "some"-johtajat pitävät tärkeänä, että kaikki huomaavat juuri hänen olevan tärkeällä paikalla, julkisuudessa ja yhteiskunnassa, tekemässä (jotain) päätöksiä. Odotan kauhulla sitä hetkeä, kun joku kansakuntien johtajista ottaa yhteiskuvan omalla kännykällään neuvotellessaan Putinin kanssa. Vai onko se jo tehty?

Kaksi poikaa riiteli koulussa opettajan saapuessa. Opettajan tiedustellessa pojilta riidan syytä he kertoivat löytäneensä kahdenkymppin setelin ja sopineensa, että se kumpi heistä osaa kertoa suuremman vaeleen saa pitää rahan. Opettaja totesi pojille, että heidän tulisi hävetä; hän ei koskaan heidän iässään valehdellut ja toimitti aina kaiken löytämänsä löytötavaratoimistoon. Pojat katsoivat toisiinsa ja antoivat rahan opettajalle.

#### **Ydininsinööri**

**Palautusosoite:**

Suomen Atomiteknillinen Seura  
PL 78  
02151 ESPOO



---

KANNATUSJÄSENET

---

**A-Insinöörit Civil Oy**

**Pohjoismainen  
Ydinvaruutuspooli**

**TVO Nuclear Services Oy**

**Fennovoima Oy**

**Pohjolan Voima Oyj**

**Voimaosakeyhtiö SF Oy**

**FinNuclear ry**

**Posiva Oy**

**Wärtsilä Projects Oy**

**Fortum Power  
and Heat Oy**

**Teknologian  
tutkimuskeskus VTT Oy**

**Westinghouse**

**Platom Oy**

**Teollisuuden Voima Oyj**