

# ATS

1|2018

Vol. 47

## YDINTEKNIikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

### Pienet modulaariset ydinreaktorit

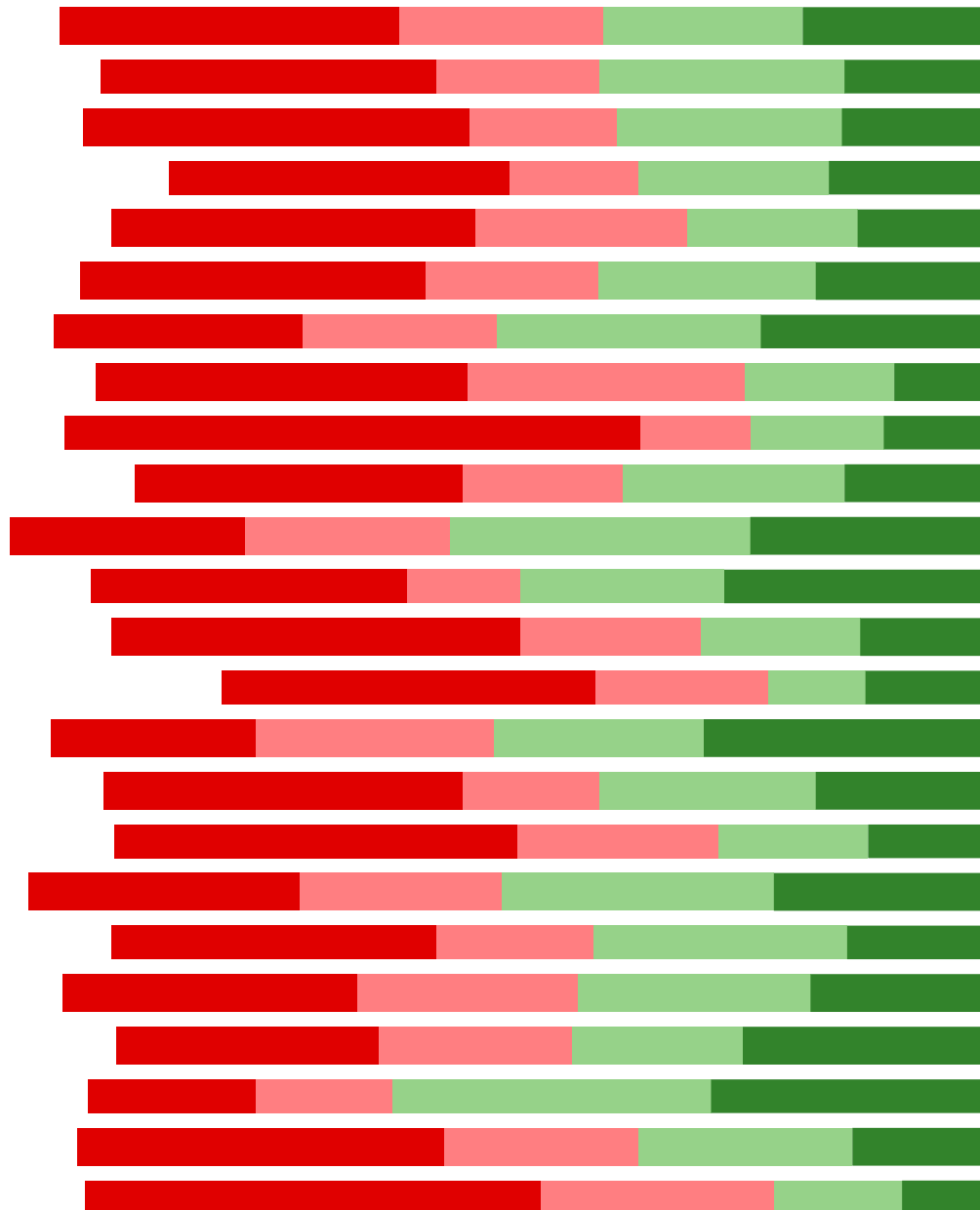
Miksi niistä puhutaan nyt niin paljon ja ovatko ne ydinvoiman tulevaisuus?

### Ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuuden suhtaututaan nykyään kriittisemmin

Suomalaisten mielipiteitä vertailtiin vuosina 2007 ja 2016 tehtyjen kyselytutkimusten pohjalta.

### Puhdas grafiitti ei syty tuleen

Hapettumisreaktiossa vapautunut energia ei pysty aikaansaamaan itseään ylläpitävää palamisreaktiota, vaan tarvitsee ulkoisen lämmönlähteen.



## 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

DI Toivo Kivirinta  
toivo.kivirinta@fortum.com

### Sihteeri / Secretary General

FM Antti Rätty  
sihteeri@ats-fns.fi

### Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Pekka Kupiainen  
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

### Jäsenet / Board Members

DI Antti Paajanen  
antti.paajanen@fennovoima.fi

TkT Jaakko Leppänen  
jaakko.leppanen@vtt.fi

TkT Vesa Tanskanen  
vesa.tanskanen@lut.fi

## Toimihenkilöt / Functionaries

### ATS Young Generation

SK Tuomo Huttunen  
tuomo.huttunen@energia.fi

### Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

DI Henri Ormus  
henri.ormus@fennovoima.fi

### Women in Nuclear Finland

FM Eveliina Muuri  
eveliina.muuri@helsinki.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

DI Anna Nieminen  
anna.nieminen@vtt.fi

### Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

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

### Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

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

### Toimitussihteeri / Lay-out Editor

Katariina Korhonen  
Suunnittelutoimisto Creatus  
katariina@creatus.fi

### Toimitus / Editorial Staff

DI Klaus Kilpi  
klaus.kilpi@welho.com

DI Lauri Rintala  
lauri.rintala@fennovoima.fi

## Toimituksen yhteystiedot

### ATS Ydintekniikka

c/o Anna Nieminen  
PL 1000  
02044 VTT  
p. 040 159 1156

### Painopaikka

Wellprint 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.

# Opitaan historiasta

**U**UTTA SUUNNITELLESSA on oltava visio, mutta hyvä sellainen huomioi myös historian. Historia ei ole paino- lasti, vaan tilaisuus laajentaa näkökulmaa ja oppia. Se miten aiemmin on tehty asioita ei välttämättä ole vanhentunutta tai ylipäätään se mikä alun perin on ohjannut tekemään asioita saattaa edelleen olla hyvä motivaattori. Uudistumisen ei tulisi olla itseisarvo, sillä jatkuvuudessa on vahvuutensa.

Koen olevani joissain asioissa melko vanhanaikainen: haaveilen omakotitalosta kaupunkiasunnon sijaan, luen Hesarini paperisena ja viestin mieluummin neljä kertaa vuodessa ilmestyvässä lehdessä kuin somessa. En todellakaan ole aikainen omaksuja, joka ottaisi uuden teknologian käyttöön ensimmäisten joukossa: tarvitsen aikaa ja joskus olen jopa muutosvastarintainen. Myös ydinvoima-ala on hyvin konservatiivinen ja asiat sekä toimintamallit muuttuvat hitaasti. Toisaalta tämä luo turvaa, mutta myös jämähtäneisyyttä. Onko kahdeksan vuotta alalla muokannut minua vai olenko sittenkin jäänyt koska oma mielenmaailmani on samankaltainen?

Kokoonnuimme taannoin suunnittelemaan Women in Nuclear Finlandin toimintaa uuden ja innokkaan puheenjohtajan kanssa ja sain jälleen itseni kiinni muistuttamassa menneestä: ”Oletko lukenut mitä ATS:n historiikissa kerrotaan Energiakanavan toiminnasta?”. Tarkoitukseni ei ollut osoittaa manuaalia tulevalle toiminnalle vaan kertoa taustasta. Historia luo pohjan, minkä päälle on hyvä rakentaa uutta; se kertoo syyn ja antaa viitteitä seurauksista.

Menneestä kannattaakin ottaa oppia niin hyvässä kuin pahassa: tehdyt virheet on syytä muistaa, jotta niitä ei toistettaisi. Tähän viittaa va esimerkki nostetaankin esiin tämän numeron SMR-artikkelissa. Historiaan ei kuitenkaan pidä jämähtää. Mennään eteenpäin, vaikka tiedostettaisiinkin se mistä on tultu. Tämän pitäisi olla itsestäänselvyys, mutta silti se havahduttaa aika-ajoin.

**Anna Nieminen**

Vastaava päätoimittaja



## SISÄLTÖ

### Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Opitaan historiasta.....	3
Pääkirjoitus: Uutta rakentaen, perinteitä kunnioittaen.....	4
Editorial: Building new, honouring traditions.....	5
Pakina: Ydinvoima – uhka vai mahdollisuus.....	26

### Tapahtumat

Johtokuntaan kolme uutta jäsentä.....	6
SMR:t ydinvoiman tulevaisuus?.....	8

### Ajankohtaista

Paljon puhetta pienreaktoreista – miksi?.....	10
--	----

### Tiede ja tekniikka

Suomalaisten suhtautuminen ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuuteen on muuttunut kriittisemmäksi.....	14
<i>Anna-Riikka Aarnio, Matti Kojo, Tapio Litmanen</i>	
Puhdas grafiitti ei syty tuleen.....	22
<i>Henri Loukusa, Ville Sahlberg</i>	

# Uutta rakentaen, perinteitä kunnioittaen

**F**UKUSHIMAN ONNETTOMUUDEN jälkeinen puheet ydinvoiman renessansista hiljenivät vuosiksi. Monet laskivat länsimaisen ydinvoiman tuotannon hiipuvan poliittisen paineen alla. Hätäisiä ja tunnepohjaisia päätöksiä tehtiin useissa maissa ja näistä päätöksistä joutuvat nyt kärsimään sekä ilmastoto että yhteiskunta. Ennen joulua ilmestyneessä Euroopan ympäristöjohtajien tapaamisen (COP23) loppuraportissa (European Climate Leadership Report 2017) ensimmäinen päälöydöksistä oli, että Saksan energiapoliittinen päätös, Energiewende, on tehnyt karhunpalveluksen ilmastolle sulkemalla hiilidioksidivapaata ydinvoimakapasiteettia ja lukitsemalla samalla itsensä riippuvaiseksi fossiilisista polttoaineista vuosikymmeniksi satojen miljardien investoinneista huolimatta. Raportissa todetaan, että Saksa on Euroopan pahiten ilmastoa saastuttava maa.

Suomessa ydinvoima on hillinnyt ilmastonmuutosta jo yli neljänkymmen vuoden ajan. Tänä päivänä me kuljemme eturintamassa rakentamassa uuden sukupolven reaktoreita, huollamme käyviä laitoksiamme ajan mukaisiksi ja kannamme näin vastuutamme tulevista sukupolvista. OL3:n kuumakokeet on saatu päätökseen ja polttoaine ladataan ensi vuoden alussa. Fennovoima arvioi saavansa rakentamislupansa lähivuosien aikana. Ydinpolttolaineketjun alkupään uusi toimija, Terra-fame odottaa vastausta lupahakemukseensa sivutuotteena saatavan luonnonuraanin talteenottoon jo tämän vuoden puolella. Tulevat vuodet ovat täynnä viime vuosikymmenen sitoumusten ja odotusten täyttymistä myös monella muulla rintamalla.

Katse on kuitenkin jo pidemmällä. Perinteisesti jähmeän, konservatiivisen ja turvallisuuskeskeisen ydinvoima-alan on oltava uudistuskykyinen myös muuttuvassa yhteiskunnassa. Turvallisuudesta tinkimättä sarjatuotantoiset pienet, ja liikuteltavatkin, modulaariset reaktorit (SMR) tarjoavat kilpailukykyisen, ympäristöystävällisen ja ketterän vaihtoehdon sähköntuotannon lisäksi myös kaukolämpöön. Sarjatuotantoisten reaktoreiden suuri haaste

on luvituksessa ja tähän on erityisesti keski-tyttävä lähivuosina. Viimeistään siinä vaiheessa, kun nykyisiä käyviä laitoksia ollaan korvaamassa, on suomalaisen SMR-konseptin oltava valmiina.

Suomen Atomiteknillinen Seura täyttää tänä vuonna 52 vuotta. Seura on olemassaolonsa aikana vakiinnuttanut asemansa teknillistieteellisenä yhdistyksenä, joka edistää ydintekniikan alan tuntemusta Suomessa ja toimii yhdyssiteenä jäsentensä keskuudessa. Seuran alkuaikojen jäsenet olivat Suomen ydinenergia-alan uranuurtajia. Tänä päivänä seuran noin 700 jäsentä edustaa laajasti alalla toimivia yhtiöitä, yliopistoja ja viranomaisia.

Seuran ensisijainen tehtävä on pitää huolta jäsenistään. Seuran toiminnan on oltava jäsenilleen kiinnostavaa ja jäsenyyden on oltava ylpeyden aihe. Tahdon kuulua tähän joukkoon!

Jäsenille suunnatut esitelmä- ja keskustelutilaisuudet tukevat verkostoitumista ja tarjoavat mahdollisuuden viimeisimmän tiedon jakamiseen. Tätä seurassa voidaan kehittää pyrkimällä ottamaan mukaan myös pääkaupunkiseudun ulkopuoliset jäsenet esimerkiksi laitos- ja yliopistopaikkakunnilla. Huomioon ottaminen on sitouttamista.

Seuran toinen tärkeä tehtävä on myös yhteiskunnallinen. ATS:n osaamista ja tietoa voidaan käyttää hyväksi alaan liittyvän tiedon jakamisessa ja kokoamisessa. Tässä asiassa ATS:n rooli ja vastuu ovat viime vuosina korostuneet. Olemme tottuneet siihen, että ydinvoima on perustuotannon kivijalka ja ATS on osa tuota turvallista perustaa, mutta tänä päivänä puhutaan hajautuksesta, tehonsäädöstä ja jopa energiantuotannon pirstaloitumisesta. Mieliä ja jopa poliittisia päätöksiä muokkaavat hajanaiset tiedonmuruset ja hypoteesit. ATS:n on nähtävä ja kannettava vastuunsa tutkimukseen perustuvan tiedon jakamisessa sekä jäsentensä keskuudessa että myös laajemmin. Seuran juhlavuonna 2016 järjestettiin ensimmäiset Suomalaisen Ydintekniikan päivät ja seuraava kansainvälinen kohtauspaikka on suunnitteilla syksylle 2019.



Tänä päivänä ATS kokoaa yhteen ydintekniikan alan parhaat asiantuntijat, järjestää seminaareja muun muassa SMR-ratkaisuista ja jakaa yhä enemmän tietoa myös seuran ulkopuolelle. ATS kunnioittaa perinteitä, seuraa aikaansa ja valmistautuu tulevaisuuteen.

## DI Tuomas Rantala

ATS:n johtokunnan puheenjohtaja  
Teollisuuden Voima Oyj / Polttoainehankinta

# Building new, honouring traditions



**A**FTER THE FUKUSHIMA accident, the discussion on nuclear renaissance quieted down for years. It was noticeable that the production of nuclear power was reduced under political pressure. In many countries hasty and sentimental decisions were made, of which the climate and the society now suffer. The first main finding of the final report of COP23 meeting (23rd annual Conference of the Parties to the 1992 United Nations Framework Convention on Climate Change), European Climate Leadership Report 2017 released in December, was that the German Energiewende is a disaster for climate. As a result of this political transition, carbon-free nuclear capacity has been shut down and Germany is tied to fossil fuels for decades despite investments worth of hund-

reds of billions. In the report it is stated that Germany is the biggest polluter in Europe.

In Finland nuclear energy has restrained climate change for over four decades. Today we are in the front line building new generation nuclear power plants and maintaining operating plants to meet the modern standards. Hot functional tests of Olkiluoto 3 are finished and the fuel will be loaded in the beginning of next year. Fennovoima estimates that they will receive the construction licence during the following years. Terrafame, which is a new actor in the beginning of the nuclear fuel cycle, is waiting for the answer to their application of natural uranium recovery as a side product already in this year. The coming years are full of meeting the commitments and expectations of last decades also in other areas.

However, we are looking ahead. Traditionally rigid, conservative and safety-oriented, nuclear field has to be able to renew in the changing society. Without risking safety, Small Modular Reactors (SMRs), which can be produced in series and could possibly be even movable, provide a competitive, environmentally friendly and agile solution to produce not only electricity but also heat. The biggest challenge with SMRs that should be concentrated on in the coming years is in licensing. Finnish SMR concept should be ready at the latest when the currently operating plants will be replaced.

Finnish Nuclear Society turns 52 this year. During its existence, the society has consolidated its position as a techno-scientific organization that promotes the knowledge of the nuclear field in Finland and serves as a connecting link between its members. In the early days of the society, the members were pioneers of the nuclear field. Today our approximately 700 members represent broadly the companies, universities and regulators of the field.

The primary objective of the society is to take care of its members. The actions of the society need to interest the members and people should be proud of this membership. I want to be part of this group!

Lectures and discussion events for the members support networking and provide an opportunity to share the latest information. These can be improved by taking into account the members outside the capital area who live for example in the locality of the operating plants or universities. Taking into account means engaging people.

Another important duty of the society is also societal. Knowhow and knowledge within the society can be utilized in delivering and gathering information related to the nuclear field. In this matter, the role and responsibility of the society have been emphasised. We have become used to nuclear energy being the most important part of the base production and FNS being part of this secure base. However, nowadays distributed energy production, power regulation and even fragmentation of the energy production are under debate. Opinions and even political decisions are shaped by scattered pieces of information and hypotheses. FNS has to identify and take its responsibility in sharing information that is based on research both within its members and with a broader scope. On its 50-year anniversary, the society organised the first Nuclear Science and Technology Symposium and the next international gathering is planned to take place in autumn 2019.

Today FNS combines the best experts in the nuclear field, organises seminars, among other topics on SMRs, and distributes information more and more also outside. FNS honours traditions, keeps up with the times and prepares for the future.

## **M.Sc. (Tech.) Tuomas Rantala**

Chairman of the Board of FNS  
Fuel procurement, Teollisuuden Voima Oyj



Jukka Sovijärvi (STUK) esittelemässä säteilymittausjoukkuetta.

## Johtokuntaan kolme uutta jäsentä

Suomen Atomiteknillisen Seuran vuosikokous järjestettiin Tieteiden talolla maaliskuun 26. päivänä. Vuosikokoukseen otti osaa 35 seuran jäsentä. Tilaisuudessa myös kuultiin esitys Säteilyturvakeskuksen koordinoimasta kriisitilanteisiin tarkoitettuun vapaaehtoisen säteilymittausjoukkueen koulutuksesta.



**FM Antti Rätty**  
ATS sihteeri  
sihteeri@ats-fns.fi

**Teksti:** Antti Rätty **Kuva:** Antti Paajanen

**S**ÄÄNTÖMÄÄRÄISINÄ ASIOINA käsiteltiin muun muassa toimintakertomuksen ja tilinpäätöksen vahvistaminen sekä toimintasuunnitelma vuodelle 2018.

Vuoden 2017 aikana otettiin käyttöön yhdistyksen uudet toimintaohjeet, joiden laatiminen oli alkanut jo edellisen vuoden puolella. Toimintaohjeet muiden muassa selkeyttävät toimihenkilöiden vastuita ja toimenkuvaa käytännön tasolla ja tuovat läpinäkyvyyttä yhdistyksen toimintaan. Toimintaa kehitettiin myös

muun muassa ottamalla käyttöön mahdollisuus osallistua jäsenilaisuuksiin etäyhteydellä sekä lisäämällä nettisivujen toimintoja muun muassa tapahtumailmoittautumisten ja jäsenien yhteystietojen päivitysten e-lomakkeilla. Toimintavuoden 2017 aikana seuran sääntöjen mukaisesti eronneeksi katsottiin ja jäsenrekisteristä poistettiin huomattava määrä henkilöitä maksamattomien jäsenmaksujen vuoksi. Tämä pienensi laskennallista jäsenmäärää, mutta toimenpiteen katsottiin olevan

välttämätön jäsenien tasapuolisen kohtelun näkökannasta.

Vuonna 2016 järjestetty Suomalaisen Ydintekniikan päivät keräsivät paljon positiivista palautetta ja toimintasuunnitelmaan kirjattiinkin, että tapahtuma järjestetään uudelleen vuonna 2019. Konferenssin järjestelyt ovat vuoden 2018 keskeinen tehtävä ja siihen varaudutaan myös rahastoimalla talousarvion varoja seuraavalle vuodelle. Näin seura saa järjestettyä pitkäjänteisemmin myös hieman suurempimuotoista toimintaa. Muuna toimintana perinteisiä jäsentilaisuuksia ja marraskuun syysseminaari on luvassa myös vuonna 2018. Lisäksi Young Generationin ja seniorien jatkaessa aktiivista toimintaansa Energiakanavaa aletaan aktivoida uudelleen pienen tauon jälkeen Eveliina Muurin (HY) tullessa valituksi toimintaryhmän vastuuhenkilöksi.

Johtokunnan kokoonpanoon tuli isoja muutoksia peräti neljän jäsenen sääntömääräisten toimikausien tultua täyteen. Puheenjohtajaksi

valittiin edellinen varapuheenjohtaja Tuomas Rantala (TVO) ja muista johtokunnan jäsenistä toimissaan jatkavat Antti Rätty (VTT), Antti Paaajani (Fennovoima) ja Toivo Kivirinta (Fortum). Uusina jäseninä johtokuntaan valittiin Pekka Kupiainen (Posiva), Jaakko Leppänen (VTT) ja Vesa Tanskanen (LUT). Uusien jäsenien esittelyt itsestään ovat tämän artikkelin ohessa.

### Esittelyssä säteilymittausjoukkue

Sääntömääräisten asioiden käsittelyn jälkeen Jukka Sovijärvi (STUK) piti esityksen vapaaehtoisesta säteilymittausjoukkueesta. Joukkueen perustamisen taustalla on, että laaja-alaisessa säteilyvaaratilanteessa STUKin oma henkilökunta ei riitä kaikkiin laajoihin säteilymittauksen kenttätehtäviin. Tavoitteena on siksi rekrytoida, kouluttaa ja varustaa säteilymittausjoukkue, joka toteuttaa itsenäisesti STUKilta tai toimivaltaiselta pelastus- tai po-

liisviranomaiselta saamia mittausta-, näytteenotto- ja opastustehtäviä. Koulutuksen järjestämisessä mukana on muun muassa Maanpuolustuskoulutusyhdistys (MPK) ja Huoltovarmuuskeskus. Esityksessä nähtiin myös toimintaan suunniteltua varustusta ja käytännön tehtäviä.

### Erkki Laurila -palkinto Jari Tuunaselle

Erkki Laurila -palkinto vuoden 2017 parhaasta ATS Ydintekniikka -lehden artikkelista jaettiin Jari Tuunaselle artikkelista ”Käytöstäpoiston kustannuksista”, joka julkaistiin numerossa 1/2017. Johtokunta vahvisti toimituksen valinnan kokouksessaan 2/2018 ja päätti palkintosummaksi yhteensä 500 euroa. Voittanutta artikkelia kuvattiin muun muassa seuraavasti: ”Selkeästi kirjoitettu ja hyvin ymmärrettävissä oleva kattava esitys maailmanlaajuisestikin erittäin ajankohtaisesta aihepiiristä”



**Jaakko Leppänen**

Olen koulutukseltani tekniikan tohtori, ja työskennellyt reaktorifysiikan parissa VTT:llä vuodesta 2001 saakka. Työtehtäväni ovat liittyneet pääasiassa Serpent Monte Carlo -transportlaskentakoodin kehittämiseen. Toimin nykyisin reaktoriturvallisuuden tutkimusprofessorina, vastuualueenani erityisesti VTT:n reaktorisydämen turvallisuusanalyysissä käytettävän laskentajärjestelmän uudistaminen sekä uuden asiantuntijasukupolven koulutus. Olen ollut mukana ATS:n YG-toiminnassa vuosina 2005–2007.



**Pekka Kupiainen**

Olen koulutukseltani diplomi-insinööri (Teknillinen fysiikka) ja valtiotieteiden kandidaatti (Taloustiede). Nykyisin olen töissä Posivalla mallinnusasiantuntijana ja työt liittyvät pitkäaikaisturvallisuuteen (erityisesti radionuklidien kulkeutumislaskenta ja biosfäärianalyysi). Aiemmin olen ATS:ssä ollut mukana enemmän YG-toiminnassa eri tapahtumissa mutta myös SYPissä ja perinteisissä jäsentilaisuuksissa. ATS:ssä haluaisin panostaa laadukkaaseen toimintaan, joka aktivoi jäseniä laajemmin eri paikkakunnilla. ATS Ydintekniikka on ollut vuosia mielekkäimpiä lukukokemuksia välittäen alan sisäisiä kuulumisia.



**Vesa Tanskanen**

Olen koulutukseltani tekniikan tohtori (ydinvoimatekniikka) virtaus- ja lämpövoimatekniikan diplomi-insinöörin taustalla. Työskentelen Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla tutkijatohtorina ja luontevimmat tutkimusaiheeni liittyvät ydinvoimalaitosten termohydrauliikkaan, monifaasivirtauksiin ja lämmönsiirtoon. ATS:n toiminnassa olen ollut aiemmin mukana lähinnä tarjonnasta ja tarjoilusta nauttivana osapuolena. ATS:ssä pidän tärkeänä uskottavan tieteellisen järjestön neutraalia ja faktoihin pohjaavaa luonnetta, vältellen kuitenkin samalla turhaa rypyotsaisuutta.



ATS YG:n varapuheenjohtaja Antti Lammela valmiina terminaalisissa ottamaan osallistujat vastaan varhain aamulla.

## SMR:t ydinvoiman tulevaisuus?

ATS YG:n vuoden 2018 päätapahtuma pureutui pieniin modulaarisiin reaktoreihin. 6.4. järjestettyä seminaaria kiiteltiin kiehtovaksi ja ajankoh-  
taiseksi niin puhujien kuin osallistujienkin osalta.

**Teksti:** Tuomo Huttunen **Kuvat:** Joonas Asikainen ja Tuomo Huttunen



**SK Tuomo Huttunen**  
Asiantuntija, energiantuotanto  
Energiateollisuus ry  
tuomo.huttunen@energia.fi

**P** IENET MODULAARISET REAKTORIT eli SMR:t ovat saaneet paljon huomiota niin mediassa kuin muuallakin viimeisen vuoden aikana. Näin ollen oli luontevaa, että SMR:t valikoituivat teemaksi vuoden 2018 ATS YG päätapahtumaan eli seminaariristeilyyn. Risteilytoimikunnan jäsenet Antti Lammela, Henri Ormus ja Tuomo Huttunen ryhtyivät innolla kokoamaan puhujakaarti, johon saatiin alan kärkinimiä eri sektoreilta. Aihe selvästi kiinnosti ATS YG:läisiä ja ilmoittautuminen lähti vauhdikkaasti käyntiin. Lopulta seminaarin 60 paikkaa myytiin loppuun.

### Vaikuttava puhujakaarti

SMR:iä tarkasteltiin niin ilmastonmuutoksen torjunnan, luvittamisen kuin teknises-

täkin näkökulmasta, ja kutakin aihealuetta oli edustamassa yhdestä kahteen puhujaa. Ensimmäisenä lauteille nousi alalla mainetta tietokirjailijana ja aktiivisena Ekomodernistina tunnettu, tuore vuoden tietokirjapalkinnon voittanut Rauli Partanen, joka alusti päivän aihetta maalaamalla ilmastonmuutoksen asetaman haasteen mittakaavaa energia-alalle. Esityksessä Rauli pureutui erityisesti SMR:ien mahdollisuuksiin dekarbonisoida sähköntuotannon ulkopuolisia sektoreita; sähköön kun keskitytään yleensä sangen paljon ja erityisesti Suomessa sähköverkko on tunnetusti isolta osaltaan jo vähähiilinen. Rauli painotti, että kokonaisenergiankulutuksesta puolet menee lämmitykseen, joten tällä alueella olisi paljon tehtävää polttamisen vähentämiseksi, niin kaukolämmön kuin teollisuusprosessien puolellakin.

Seuraavaksi teemaksi valikoitui ydinvoimalaitosten luvittaminen, jotta saatiin sidottua SMR:t Suomen olosuhteisiin ja lainsäädäntöön. Aihetta alusti alan konkari Rauno Rintamaa Clenercon Oy:lta, ja esitystä täydensi yli-insinööri Jorma Aurela työ- ja elinkeinoministeriön energiaosastolta kertomalla nykyisen ydinenergian antamista mahdollisuuksista. Monta suuta täisi lokahtaa auki Jorman valottaessa, ettei YEL ole erityisenä esteenä SMR:ien rakentamiselle, vaan että useitakin laitosyksiköitä voitaisiin luvittaa yhdellä kertaa, jos ne ovat todettavissa yhdeksi kokonaisuudeksi. Suojavyöhykeasiaa olisi sen sijaan tutkittava tarkemmin STUKin kanssa, jotta erityisesti kaukolämmöntuotantoon suunniteltava SMR olisi sijoitettavissa lähelle tiiviimpää asumista. Aihe vaatii vielä tarkempaa perehtymistä, mutta varsinaisia ehdottomia esteitä SMR:ien rakentamiselle ei lainsäädännön näkökulmasta vaikuttaisi olevan.

Tekniikkaan päästiin perehtymään ensi vaiheessa VTT:n tutkijan, ”Suomen SMR-tähden” Ville Tulkin johdolla. Villeä onkin haastateltu mediassa useaan otteeseen erityisesti VTT:n SMR:ien mahdollisiin kaukolämpösovelluksiin paneutuneen tutkimuksen julkaisemisen jälkeen. Ville esitteli tutkimuksen löydöksiä, ja joistain avoimista kustannuskysymyksistä huolimatta vaikuttaisi tutkimuksen mukaan siltä, että kaukolämpöä tuottava pienehkö



SMR olisi sovitettavissa esimerkiksi Espoon kokoiseen kaukolämpöverkkoon.

Teknistä tarkastelua jatkoi Fortumin Antti Rantakaulio, joka kertoi edelleen SMR:ien mahdollisuuksista lämpösektorilla. Antin mukaan SMR:t soveltuvat isoja laitoksia paremmin kaupunkiympäristöön ja pystyvät myös paremmin vastaamaan kysynnän vaihteluun ja toimimaan hyvin kuormanseurannassa, konseptista riippuen. Fortum on erityisesti suunnannut katseensa NuScale-konseptiin, joka onkin jo sangen pitkällä Yhdysvaltojen ydinturvallisuusviranomaisen NRC:n tyyppihyväksyntäprosessissa, ja laitos voisi soveltua myös yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon. Meillä monet kaupunginvaltuustot eri puolilla Suomea ovatkin tehneet aloitteita, joissa esitetään lisätutkimuksia SMR:ien soveltuvuudesta kaupunkien kaukolämpöverkkoihin. Helsingin kaupunginvaltuusto äänesti asiasta toukokuun lopussa. Lisätutkimus sai vankan poliittisen, yli puoluerajojen ulottuvan, tuen loppuäänestyslukemilla 59 puolesta ja 4 vastaan.

Päivän viimeisenä puhujana ennen ryhmätöitä oli professori Juhani Hyvärinen Lappeenrannan Teknillisestä Yliopistosta. Juhani paneutui syvällisemmin eri SMR-konseptien teknisiin ominaisuuksiin, haastei-



*Puhujat ja järjestäjät tyytyväisinä jo ennen illallistakin. Oikealta lukien Jorma Aurela, Ville Tulkki, Rauli Partanen, Antti Rantakaulio, Juhani Hyvärinen, Rauno Rintamaa, Tuomo Huttunen, Henri Ormus ja Antti Lammela.*

ta unohtamatta. Tarkastelussa olivat mm. NuScale, mPower sekä sulasuola- ja kuula-kecoreaktorit. Yhtenä viestinä innokkaalle, insinöörin painotteiselle kuulijakunnalle oli, että on hyvä muistaa eri konsepteilla kaikilla olevan hyviä ja huonoja puolia, ja että nykyisillä, isoilla kevytvesireaktoreilla on myös useita etuja puolellaan. Esitys antoi kaivattua lisävaloa moniin reaktorikonsepteihin, ja Juhaniin yhtenä loppukaneettina kuulijoille olikin ”Think with your own brains”. Kokonaisuutena monet SMR-konseptit vaikuttavat kuitenkin hyvin lupaavilta.

### **Työpaja: Mitä tarvitaan taistelussa ilmastomuutosta vastaan? Miten SMR:t pitäisi luvittaa? Mitä investointivaihtoehtoja SMR:illä on Suomen ympäristössä?**

Ennen laivan paluuta Helsinkiin ehdittiin vielä jakaantua ryhmiin pohtimaan SMR:ien rooleja eri näkökulmista, perehtyen erityisesti ilmastomuutokseen, luvittamiseen ja kaukolämpöinvestointeihin. Ryhmiltä tuli hyvin kiintoisia ajatuksia ja ideoita, joista osaan ollaankin tulevaisuudessa perehtymässä syvällisemmin eri foorumeilla. Luvituksen suhteen kaikki tuntuivat olevan yhtä mieltä siitä, että SMR:t pitäisi pystyä luvittamaan ja hyväksymään yhteisesti, jottei laitoksiin jouduttaisi tekemään maakohtaisia teknisiä muutoksia, koska muussa tapauksessa laitosten tehdasvalmisteisuus ja taloudellisuus voisi kärsiä merkittävästi.

Kaiken kaikkiaan seminaarissa oli hyvin innostunut ja positiivinen tunnelma. Ei liene liioiteltua sanoa, että SMR:ien myötä tuntuu siltä, että emme pelkästään elä ydinvoiman renessanssia, vaan uuden aikakauden alkua myös teknisessä mielessä; erilaisia teknisiä konsepteja näyttäisi olevan suurehko määrä tarjolla, joissa on hyvin erilainen lähestymistapa niin polttoaineen, jäähdytteen kuin moderaattorinkin suhteen. Joku vertaisikin tilannetta ydinvoiman alkuaikoihin, kun ei ollut vielä selvää, että kevytvesireaktorit tulevat dominoimaan kenttää, vaan erilaisia konsepteja tutkittiin ja rakennettiin paljon. Tulevaisuus vaikuttaakin sangen kiehtovalta nuorille ydinvoima-alan ammattilaisille!



*Investointipäätökset menossa ryhmätöivaiheessa.*

# Paljon puhetta pienreaktoreista – miksi?

Pienet modulaariset ydinreaktorit ovat jo hetken olleet ydinvoiman tulevaisuuden lupaus. Ydinvoima-alalla kvartaali on kuitenkin ollut perinteisesti neljännesvuosisata ja alan oppikirjat ovat täynnä kuvauksia tulevaisuuden reaktoreista joista ei tullut mitään. Voisiko tällä kertaa olla toisin?

**Teksti:** Ville Tulkki

**P** IENET MODULAARISET YDINREAKTORIT (Small Modular Reactors, SMRs) ovat olleet viime aikoina näkyvillä eri yhteisissä. Useamman kunnan valtuustoissa on ollut aloitteita selvityksistä näiden pienreaktoreiden mahdollisuuksista kaukolämmön tuotannossa, ja mediassa näitä tulevaisuuden reaktoreita on käsitelty hyvin myönteisesti. Suomi on päässyt jälleen kokoaan suurempaan asemaan, sillä uusien rakennusprojektien etenemisen lisäksi tämä uusi yhteiskunnallinen keskustelu ydinvoiman lämpökäytöstä on huomattu myös ulkomailla.

Samalla voisi sanoa, että ydinvoima-ala on tullut hieman yllätetyksi tästä mielenkiinnosta: yhtäältä kaikilla ei välttämättä ole ollut hyvää kuvaa siitä mistä pienreaktoreissa on kyse, toisaalta sovelluskohtena kaupunkien paikallisen lämmöntuotanto avaa monia kysymyksiä joihin meillä ei ole ollut valmiita vastauksia. Viimeksi paikallista kaukolämpöreaktoria taidettiin tutkia osana SECURE-projektia 1980-luvun alussa, ja siinä projektissa mukana olleet asiantuntijat ovat pääosin jo eläkkeellä.



**TKT Ville Tulkki**

Erikoistutkija  
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
ville.tulkki@vtt.fi

Miksi pienreaktoreista puhutaan nyt niin paljon? Syitä voi esittää monia, mutta oma tulkintani on se, että aika on kypsä. Pienreaktoreiden kehitys on riittävän pitkällä, että niistä voi puhua ja meillä on yhä kasvava tarve uusille ratkaisuille. Lisäksi pienreaktoreilla on tukeaan tarina.

## Mitä SMR:t ovat?

SMR on sateenvarjotermi isolle joukolla erilaisia ydinreaktoreita, ja erot ryhmän sisällä voivat olla suurempia kuin joidenkin SMR:ien erot nykyisin käytössä oleviin reaktoreihin. Yleinen määritelmä on, että SMR:t ovat korkeintaan 300 MW sähkötehon ydinreaktoreita joissa pyritään mahdollisimman suureen sarjatuotannon ja tehdasvalmistuksen osuuteen. Lisähaasteen tuo vielä kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n jo pitkään käyttämä määritelmä pieni- ja keskikokoisista reaktoreista (Small and Medium sized Reactors, SMRs), joka osittain kattaa saman joukon reaktoreita. Esimerkiksi Loviisan reaktorit ovat suurempia kuin yleinen SMR-luokittelu sallii, mutta IAEA:n luokittelussa ne ovat SMR:iä. Ulkopuolinen tarkkailija saattaisi huomauttaa että alalla ehkä suositaan liikaa KKL:iä (kolmen kirjaimen lyhenteitä).

Pienreaktorit voi luokitella koon, käyttötaroituksensa ja käytetyn teknologian mukaan. Pienimmät, muutaman megawattien mikroreaktorit, on tarkoitettu sähköverkon ulkopuolisen asutuksen ja kaivosten vaatiman energian tuottamiseen korvaamaan kallista ja vaivalloista diesel-kapasiteettia. Näitä kehitetään nyt erityisesti Kanadassa. Lautalle asennetut kevytvesireaktorit ovat hieman suurempia, mutta kuitenkin vielä tarkoitettu alueille joissa infrastruktuuri ei ole riittävän kehittynyt varsinaista ydinlaitosta varten. Sähköntuotantoon tarkoitettujen runkoverkoon kytkettävät konseptit pyrkivät usein saa-

maan monta reaktoria rinnan, jolloin ne voivat käyttää yhteisiä järjestelmiä ja näin laitoskoko vastaisi perinteisiä voimaloita, vaikka reaktoreita olisikin useampia. Kaasujäähdytteiset reaktorit mahdollistavat myös korkean lämpötilan prosessilämmön tuottamisen.

## Tarve on olemassa

Ilmastonmuutos etenee, maailmanlaajuiset hiilidioksidipäästöt eivät ota hidastuakseen ja nykyiset sitoumukset ja keinot ovat osoittautuneet täysin riittämättömiksi Pariisin ilmasopimuksen tavoitteiden saavuttamiseen. Suomessa hiilidioksidipäästöjä on kyetty laskemaan, mutta helpot keinot alkavat olla jo käytetty. Jatkossa kaupunkien lämmitys, teollisuuden energiankäyttö ja muut päästöt sekä liikenteen päästöt pitäisi puhdistaa. Samalla biomassan energiankäytön suurimittaisen lisäämisen kestävyys on muuttunut yhä kyseenalaisemmaksi.

Viimeksi toukokuussa Helsingin kaupunginvaltuusto hyväksyi ponnin, jossa veloitetaan kaupunkia selvittämään kaukolämmön tuotantomahdollisuuksia turvautumatta laajamittaiseen biomassan polttamiseen. Voimakkaasti vaihtelevatuottoisiin uusiutuviin pohjautuvia järjestelmiä on tutkittu useissa projekteissa viime aikoina, ja niiden tuloksista jää vaikutelma, että se vaatii vanhan kaupunkirakenteen lähes täydellistä uudelleenrakentamista. Uusille ratkaisuille onkin huutava tarve.

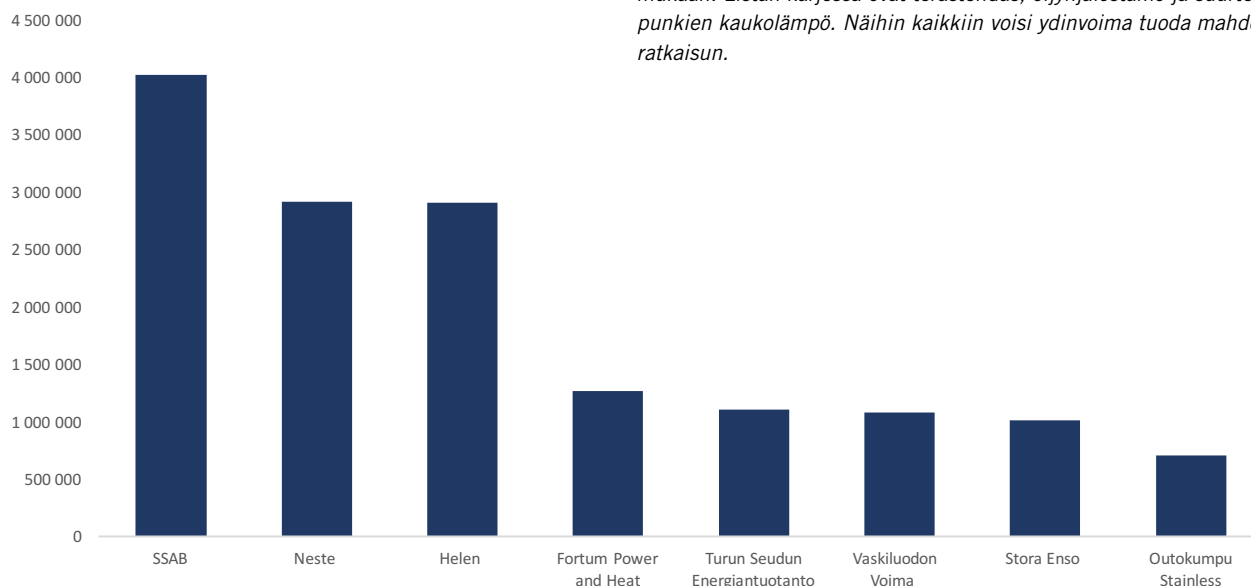
Ydinenergialla on vähäpäästöisenä, energiatiheänä ja säästä riippumattomana energiantuotantomuotona omat kiistattomat hyötynsä. Sähköntuotannossa sitä on hyödynnetty Suomessa pitkään ja menestyksellä. Ydinkaukolämmöstä on puhuttu Suomessa ainakin 1970-luvulta lähtien. Maailmalla on ollut vuosikymmeniä projekteja ydinvoiman kehittämisestä teollisuuden lämmöntarpeiden tyydyttämiseen. Ydinvoima on hyvä ratkaisu moniin ilmastonmuutoksen hillitsemisen vaatimiin haasteisiin. Ja säädettävänä sekä säästä riippumattomana energiantuotantomuotona ydinvoima kelpaa nykyiseen infrastruktuuriin lisättäväksi ratkaisuksi, sen sijaan että koko yhteiskuntaa vaadittaisiin muuttamaan.

Pienreaktorit ovat ajatuksen tasolla jotain uutta. Ne tarjoavat kiinnostavia ratkaisuja erittäin vaikeisiin haasteisiin. Ei siis ole ihme, että kiinnostus pienreaktoreihin on kasvanut.

## Tekemättä vaille valmis

Vaikka puhetta pienreaktoreiden ympärillä on riittänyt jo vuosikymmenen, viime aikoina on alkanut syntyä myös konkreettisempaa tulosta. Venäläinen lauttareaktori on laskettu

TONS OF CO2 EMITTED IN 2015



Suomen suurimmat yksittäiset hiilidioksidinpäästäjät Tilastokeskuksen mukaan. Listan kärjessä ovat terästehdas, öljynjalostamo ja suurten kaupunkien kaukolämpö. Näihin kaikkiin voisi ydinvoima tuoda mahdollisen ratkaisun.

vesille, kiinalainen kuulakekoreaktori on ollut jo hetken "miltei valmis" (viimeisimpien uutisten mukaan viivästyksiset ovat johtuneet eksoottisista lämmönvaihtimista ja nekin saadaan lähiaikoina toimitettua laitokselle) ja yhdysvaltalainen NuScale on NRC:n lisensointiprosessissa. Aiempia pienreaktoriprojekteja on jo kuopattu, mutta uusia julkistetaan kuten ranskalaisten toimijoiden yhteisprojekti viime vuodenvaihteessa ja Rolls-Roycen oma konsepti viime vuodelta.

Ydinvoima-alalla opitaan jo nuoresta pitäen konservatiivisiksi, ja ehkä sen takia uusien tuulien epäilijöitä löytyy niin alan ulkopuolelta kuin omastakin takaa. Usein kuulee sanottavan, ettei näissä pienreaktoreissa mitään uutta ole sillä nehan on jo kokeiltu, ja suurin osa pienistä voimaloista on jo suljettu kannattamattomina. Myös vuosituhannen alussa lanseerattuihin Gen4-reaktoreihin yhdistetyt lunastamatta jääneet lupaukset muistetaan. Eroja kuitenkin on, sekä reaktoreissa että ajassa.

Ydinenergian kehitysvaiheessa reaktorit olivat pieniä. Ne oli kuitenkin tarkoitettu harjoittelukappaleiksi matkalla kohti suurempia laitoksia, ja siten ne hyvin usein jäivät yksittäiskappaleiksi. Nyt suunnitteilla olevat pienreaktorit eivät ole tarkoitettu demoiksi suurista laitoksista ja niihin vaadittavista teknologioista, vaan niiden suunnittelu pohjaa pienen koon mahdollistamiin ratkaisuihin.

Ensimmäisiä paljon uutisoituja mikroreaktoreita oli Toshiba:n projekti 10 MW:n natriumjäähdysteisen 4S-reaktorin sijoittamisesta

Galenan kylään Alaskaan. Projekti jäi kuitenkin puolitiehen vuoden 2009 tienoilla ilmeisesti ainakin osittain korkeiden lisensointi- ja lupamaksujen takia. Nämä oli Yhdysvalloissa mitoitettu suurille kevytvesireaktoreille, ja siten käytännössä sulki pois mahdollisuuden mikroreaktoreiden kannattavaan kaupalliseen käyttöön. Viimeisen vuosikymmenen aikana myös nämä käytännöt ovat olleet muutoksessa, ja pienreaktorien lisensointi on edennyt monissa maissa.

Pienreaktoriprojekteja onkin käynnissä monessa maassa, joko lisensoinnin tai rakentamisen suhteen. Tämä tuo uskottavuutta puheille uudentyypisistä ydinvoimasta. Kiinassa ja Venäjällä projektit monen pieniydinvoimalan osalta ovat pitkällä ja niissä valtion ajamat hankkeet voivat luottaa rahoitukseen - ainakin niin pitkälle kuin poliittinen tuki kantaa. Lännessä taas projektit ovat vielä innovaation kuolemanlaaksossa, missä hyvien konseptien pitäisi päästä läpi kalliista demonstraatio- ja kaupallistamisprosessista lyödäkseen läpi. Suuri kysymys onkin, löytyykö tälle uudelle ydinvoimalle riittävän suurta tukea, jotta se päätyisi kaupallisesti kypsäksi teknologijaksi.

### Ydinvoiman uudistumisen tarina

Kertomus pienreaktoreiden ympärillä muistuttaa hyvin paljon ydinvoimaversiota cambellilaisesta arkkimyytistä "sankarin matkasta". Sankarin matka kuvaa kehystä johon suuri osa tarinoista sopii: sankari lähtee matkalle, kokee vastoinkäymisiä, hänen on muututta-

va (tai voimakkaimmillaan kuoltava ja uudelleensynnyttävä) ja lopuksi muuttunut sankari palaa palkinnon kera.

2000-luvun alussa ydinvoimarenessanssi alkoi käynnistyä länsimaissa. Uusia voimalaprojekteja aloitettiin innolla, mutta projektit viivästyivät ja kohtasivat erilaisia haasteita. Samalla maailma muuttui voimakkaasti uusiutuvien halventuessa ja energiapolitiikan suosiossa niitä. Nyt ydinvoiman on uudistuttava tai kuoltava - ja pienreaktorit ovat tämä uudistumisen mahdollisuus. Lopulta pienreaktorit mahdollistaisivat ydinvoiman uuden nousun ja olisivat oleellinen osa ilmastonmuutoksen hillintää. Tässä ilmenee hyvin klassinen tarinan kaari.

Tosielämä ei ole tarina, ja ydinvoima-alan asiantuntijat kyllä tietävät, etteivät pienreaktorit ole mikään ihmelääke. Mutta ihmisinä olemme tottuneet tarinoihin ja ne vetoavat paljon voimakkaammin kuin kylmät faktat. Hyvän tarinan voimaa ei kannata väheksyä. Halusimme tai emme, elämme paljolti hype-taloudessa jossa paras tarina, ei teknologia, voittaa.

### Ei toisteta viime vuosikymmenen virheitä

Tulevaisuus on aina epävarmaa, ja välillä varovaisuus kannattaa. Joskus tosin varovaisella suhtautumisella voidaan myös torpata tulevaisuuden kasvun idut. Toisaalta liian suuret lupaukset, joita ei ole aikomuskaan pitää, osuvat lopulta omaan nilkkaan. Tästä esimerkkinä ovat viime vuosikymmenen tutkijoiden lupauk-

set aivan uuden sukupolven ydinvoimateknologiasta.


Aloittaessani diplomityötäni Teknillisen korkeakoulun Energiatieteiden laboratoriossa vuonna 2005 ydinenergia oli uudessa nousussa. Olkiluoto 3 oli saanut periaatepäätöksen turvaten suomalaisen ydinvoiman tulevaisuuden ja maailmalla oli lanseerattu käsite neljännen sukupolven ydinreaktoreista (“Gen4”) joiden kehittämiseen sopi satsata tutkimusta. Tällöin näiden Gen4-laitosten piti olla kaupallisessa käytössä 2020-luvulla, ja Suomessakin oli rahaa näiden reaktoreiden tutkimiseen. Tosin usein muistettiin mainita, ettei niitä reaktoreita koskaan Suomeen rakennettaisi, mutta saattaisihan niitä joskus tulla naapurimaihin, joten jokin ymmärrys olisi hyvä olla ja pitäähän sitä nuorille olla jotain mielenkiintoista tutkittavaa. Ei liene yllätys, että alan senioreiden asennoiduttua noin koko tulevaisuuden reaktoreiden tutkimus hiipui, Gen4-laitokset ovat yhä 20 vuoden päässä (nyt niiden pitäisi olla kaupallisia 2040-luvulla) ja usein puhuttaessa tulevaisuuden ydinvoimasta monet

nauravat räkäisesti muistellen, että kyllä niitä lupailtiin viisitoistakin vuotta sitten. Gen4 oli mahdollisuus uudistaa ydinvoimaa, mutta koko haasteen raamitus – suurempia, turvallisempia, taloudellisempia, kestävämpiä suoraan maailmanluokan tutkimusta hyväksikäytetään – maalitti sen tiukasti perustutkimuksen piiriin. Ja siellä se on pysynyt.

Olen huolissani seurannut joidenkin suomalaisten ydinvoima-ammattilaisten suhtautumista pienreaktoreihin. Kaiut viime vuosikymmeneltä kuuluvat: “Tässähän on hyvä haastava aihe jolla houkutellessa nuoria alalle.”, “Seuraillaan rauhassa mitä muualla tapahtuu.”, “Ei ainakaan mitään kovin haastavaa tai kunnianhimoista kannata Suomessa tehdä, jos niitä vaikka ensin jossain muualla otettaisiin käyttöön.” Todetaan että näitä uusia reaktorikonsepteja nyt maailmalla kehitellään niin kauan kuin niihin saadaan valtioilta rahaa, mutta sitten ne epäonnistuvat kuitenkin. Tämä saattaa olla käytännöllinen lähestymistapa, sillä pessimistihän ei pety, mutta sillä myös taataan se, ettei ala ota tosissaan tätä mahdollisuut-

*Oikealla: VTT:n mallinnus kaukolämpöreaktorin vaikutuksesta suuren suomalaisen kaupungin kaukolämmön tuotantopalettiin vuonna 2030. Eri värit merkitsevät eri tuotantomuotoja (CHP = Combined Power and Heat, DH = District Heating), aika kulkee x-akselilla vuoden alusta loppuun.*

ta uudistua. Jos ala itse ei ole uusista asioista innostunut, miksi muukaan yhteiskunta olisi?

Haasteet ovat ilmastonmuutoksen ja päästövähennysten myötä valtavat, ja ydinvoiman potentiaali niihin vastaamiseen merkittävä. Viime vuosina niin meillä kuin maailmalla ydinvoiman lippua ovat nostaneet ydinvoimateollisuuden ulkopuoliset järjestöt ja aktivistit vaatimalla ydinvoimalta paljon nykyistä suurempaa roolia ilmastonmuutoksen hillintään. Tähän huutoon on myös ydinvoima-alan vastattava, jos haluamme että ydinvoimalla on merkitystä tulevaisuudessa. 

*Lisätietoa: [https://aris.iaea.org/Publications/SMR-Book\\_2016.pdf](https://aris.iaea.org/Publications/SMR-Book_2016.pdf)*

# Reaktoriprojektien tilanne

## Mikro- ja lauttareaktorit

Kanadassa Canadian Nuclear Laboratories (CNL) ja Atomic Energy of Canada Limited (AECL) pyrkivät rakentamaan demonstraatio-SMR:n CNL:n hallinnoimalle alueelle. Ne ovat perustaneet tätä varten nelivaiheisen projektin, jonka pitäisi päättyä demonstraatiolaitoksen rakentamiseen. Ensimmäisen esiselvitysvaiheen haku oli päätynyt tämän vuoden kesäkuussa. Tämän aloitteen lisäksi Kanadan viranomaisten esilisensointiprosessissa (<http://nuclearsafety.gc.ca/eng/reactors/power-plants/pre-licensing-vendor-design-review/index.cfm#R3>) on jo useampi reaktorikonsepti. Monet näistä ovat mikrokokoisia ja niiden kohteena ovat juuri Kanadan kaukaiset asutukset. Käyttökohteestaan johtuen näille reaktoreille on kovat vaatimukset turvallisuuden ja helppokäyttöisyyden osalta, eivätkä pienimmät reaktorit ole kevytesiteknologiaa. Esimerkkeinä ovat esimerkiksi URENCO:n ja Ultra Safe Nuclear Corporationin muutaman megawatin kaasujäähdytteiset reaktorit sekä Westinghousen kiinteää reaktorisydäntä ja lämpöpötkiä hyödyntävä eVinci. Mikroreaktoreiden pieni koko

mahdollaistaakin vähemmän käytettyjen teknologioiden testaamisen ja myös enkelisijoittajien rahoittamat startupit.

Venäjän ensimmäinen lauttareaktori, Akateemikko Lomonosov, hinattiin vastikään telakalta Pietarista Muurmanskiin, jossa siihen on tarkoitus ladata polttoaine. Muurmanskista lauttareaktori siirretään Pevekin edustalle itäisen Venäjän jäämeren rannikolle. Lomonosovissa on kaksi KLT-40S -reaktoria, jotka on kehitetty aiemmista ydinkäyttöisten jäänmurtajien reaktoreista. KLT-40S -reaktoreiden seuraaja on RITM-200 -reaktori, jossa lämmönvaihtimet ja paineistin on siirretty reaktoriastian sisään (“integraalinen PWR”, iPWR) kuten monissa kevytvesi-SMR:ssä on tyyppillistä. RITM-200 on valmistajansa OKBM Afrikantovin mukaan soveltuva sekä meri- että maakäyttöön, ja nämä reaktorit ovat käytössä Venäjän uusimmissa jäänmurtajissa.

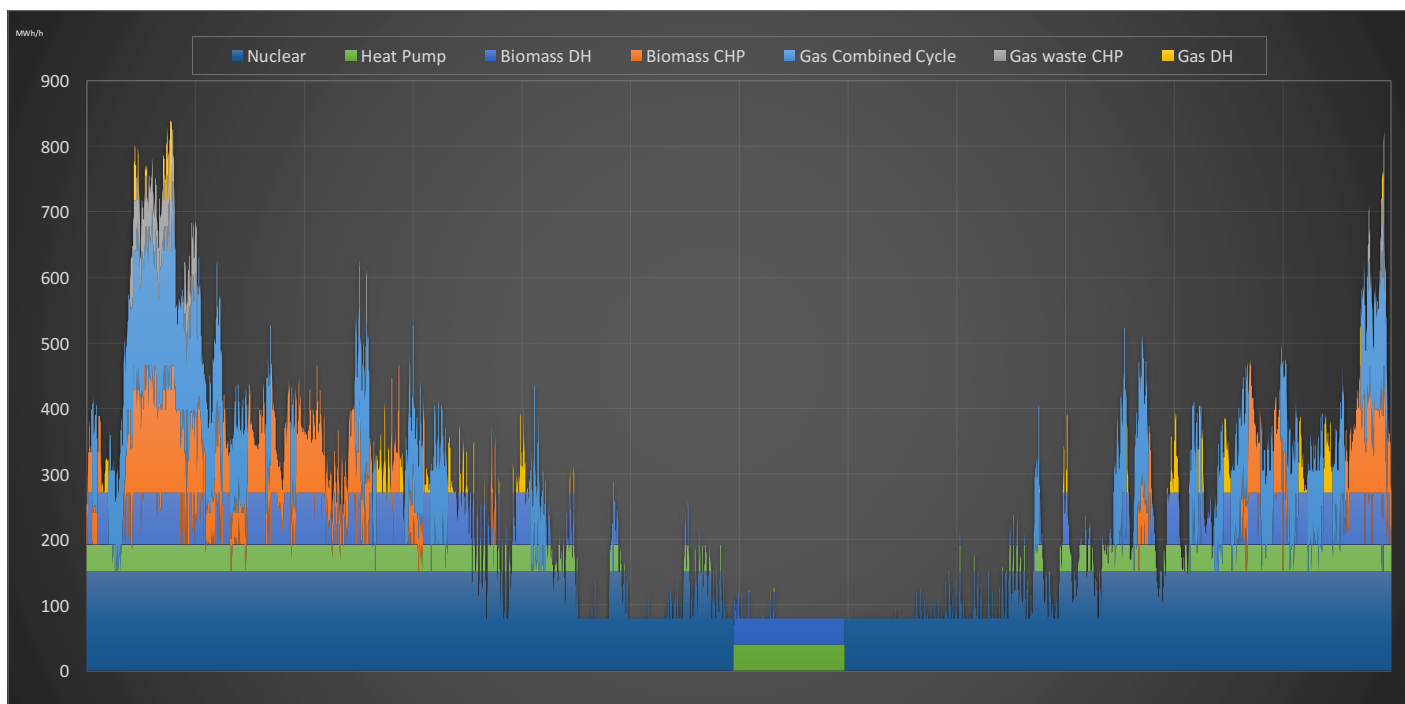
## Vesijäähdytteiset pienreaktorit

Kevytvesiteknologiaan pohjautuvia pienreaktoreita pidetään yleisesti lähimpänä valmistumista, sillä teknologia itsessään on tuttua, vaikka osa ratkaisuista voikin olla uusia. RITM-200:n tavoin suurin osa näistä on integraalisia painevesireaktoreita. Koreassa SMART oli jo pitkälle kehitetty, kun Fukushima onnettomuus vaati sähköstä riippumattomien järjestelmien lisäämisen ja reaktorin uudelleensuunnittelun.

SMART on verrattain perinteinen pieni laitos, sillä ydinvoimalassa on yksi 100 MWe:n reaktori ilman sen suurempaa rinnakkaisuutta. Tällä hetkellä Korealla ja Saudi-Arabialla on SMARTin kaupallistamiseen tähtäävä yhteistyö.

Yhdysvalloissa NuScale sai huhtikuussa lisensiointiprosessin ensimmäisen vaiheen (alustava turvallisuusarvio avoimin kohdin) valmiiksi ja tähtää lisenssiin vuoden 2020 loppuun. NuScalen reaktorimoduuli on 50 MWe / 165 MWth integraalinen painevesireaktori, jossa on sekä paineastia että suojarakennus sisäkkäisinä teräsrakenteina. Voimalaitoksessa on enimmillään 12 moduulia rinnan vesialtaassa, muodostaen 600 MWe:n voimalan. Jokaisella moduuleista on oma turbiininsa, ja voimalan pitäisikin olla erittäin nopea vastaamaan muuttuvaan tehon tarpeeseen. Ensimmäinen voimalaitos on suunniteltu valmistuvan Idahoon vuonna 2026, ja sen tarkoitus on tasoittaa läheisen suuren tuulivoimakeskittymän vaihtelevaa tuotantoa.

Monella taholla on myös joko vähemmän pitkällä olevia suunnitelmia pienreaktoreista tai jo hyllytettyjä projekteja. Euroopassa Rolls-Royce on julkaissut oman 440 MWe:n “pienreaktorinsa” ja ranskalaiset tahot ovat ilmoittaneet juuri ryhtyvänsä suunnittelemaan ranskalaista pienreaktoria. Kiinalaiset kevytvesireaktorit ovat ottaneet monia muotoja, SMARTin ja NuScalen innoittamien ACP100:n ja ACP100+:n lisäksi esimerkiksi allastyypipi-



nen kaukolämpöreaktori DHR400 ja useita kilpailevia lauttareaktorimalleja.

Kevytvesiteknologiaan pohjautuvat pienreaktorit ovat selkeästi yleisin ryhmä, osittain mahdollisesti siksi että teknologia on valmistajille tuttua. Toisaalta myös vaatimus pitäytyä ratkaisuisissa, jotka ovat yhteensopivia isojen laitosten - kuten polttoaineen malli – asettaa rajoituksia sille millaisia laitoksia voidaan suunnitella.

### Kaasujäähdytteiset pienreaktorit

Kevytvesireaktoreilla tuotetun höyryn lämpötilaa rajoittaa veden kiehuminen. Korkeampia lämpötiloja varten joudutaan siirtymään joko metalli-, sulasuola- tai kaasujäähdytteisiin reaktoreihin. Näistä kaasujäähdytteisillä on korkeimmat mahdolliset hyödynnettävissä olevat lämpötilat, ja ne ovatkin perinteisesti oletusreaktorityyppi teollisuuden lämmöntuotannon tarpeisiin. Kaasujäähdytteisiä reaktoreita on ollut etenkin Iso-Britanniassa, mutta myös Yhdysvalloissa ja Saksassa. Modernit grafiittihidasteiset heliumjäähdytteiset reaktorikonseptit käyttävät polttoaineenaan TRISO-partikkelipolttoainetta (TRistructural ISOtropic), jossa pienet uraanikernelit on kapseloitu sisäkkäisiin kuoriin, jotka pysäyttävät fissiotuotteiden etenemisen. Nämä TRISO-partikkelit on sitten sijoitettu joko grafiittikuuliin (kuulakekoreaktori) tai heksagonaalisiin polttoaine-elementteihin. Yhdysvallat keskittyi

Gen4-kehityksessä kaasujäähdytteiseen erityäin korkean lämpötilan reaktoriin NGNP:hen (Next Generation Nuclear Plant), jonka kehitys keskeytyi kymmenisen vuotta sitten. Tästä kehitystyöstä on kuitenkin jäljellä kvalifioitu polttoaineen valmistustekniikka ja tulevat reaktorit voivat hyödyntää tätä työtä.

Tällä hetkellä pisimmällä modernien kaasujäähdytteisten reaktoriin suhteen ollaan Kiinassa, jossa HTR-PM -demolaitoksen pitäisi käynnistyä vuoden sisällä. HTR-PM:ssä on kaksi 250 MWth kuulakekoreaktoria, jotka tuottavat höyryä yhteensä noin 200 MWe höyryturbiiniin. HTR-PM ja sen seuraava kehitysversio HTR-PM600 (6 identtistä kuulakekoreaktoria) on suunniteltu siten että niiden sekundääripiirissä on 565 °C höyryä jota voidaan käyttää moderneilla hiilivoimaloiden CHP-turbiineilla. Näitä reaktoreita onkin suunniteltu hiilivoimaloiden plug-in-korvaajiksi. Kiinassa on paljon varsin uusia hiili-CHP-voimaloita, joita on pakko käyttää sillä niillä lämmitetään kaupungit talvisin. Suunnitelmissa hiilikattila korvattaisiin höyrystimillä jotka saisivat lämpönsä ydinreaktoreista, ja näin voitaisiin olemassa olevaa infrastruktuuria käyttää tehokkaasti hyödyksi. HTR-PM-tyyppisiä reaktoreita voidaan käyttää myös teollisuuden prosessilämmän tuottamiseen, tällä hetkellä Kiinalla ja Saudi-Arabiassa on aiesopimus kaasujäähdytteisten reaktoriin hyödyntämisestä petrokemian teollisuudessa.

Euroopan maista Puolassa on ollut jo pitkään jonkinasteinen aieprojekti korkean lämpötilan reaktorin demoamisen suhteen, mutta rahoitusta ei toistaiseksi ole löytynyt. Puola on isossa osassa korkean lämpötilan reaktoriin keskittyvässä H2020-projekti Gemini+:-ssa ja viime vuodenvaihteessa Puolassa julkaistiin HTR-roadmap, joten tilanne voi muuttuakin.

### Eksoottisemmat pienreaktorit

Tunnetuin SMR-kokoluokan metallijäähdytteinen reaktori on GE-Hitachin PRISM-reaktori, joka on yhdysvaltalaisen Integral Fast Reactor-konseptin jälkeläinen. Nopean spektrin reaktorit kuitenkin odottavat ratkaisua suljetulle polttoainekierrolle, mihin sitoutuneita maita ei oikein vielä ole.

Sulasuolareaktoreissa polttoaine kulkee primääripiirissä sulan suolan mukana. Tätä reaktortyyppiä testattiin 1960-luvulla mutta kehitys on ollut hidasta. Silti teknologialla on äänekkäät puoltajansa ja tämän vuosikymmenen alussa yhdysvaltalainen sulasuolareaktoristartup Transatomic Power oli ”uuden ydinvoiman” symboli mediassa. Käytännön projektit ovat lähinnä paperilla. Pisimmällä on kanadalaisen Terrestrial Energy:n sulasuolareaktori Integral Molten Salt Reactor (IMSR), joka on Kanadassa esilisensointi-putkessa.

# Suomalaisten suhtautuminen ydinjätteen loppusijoituksen turvallisuuteen on muuttunut kriittisemmäksi

Anna-Riikka Aarnio<sup>1</sup>, Matti Kojo<sup>1</sup>, Tapio Litmanen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tampereen yliopisto, <sup>2</sup>Jyväskylän yliopisto

Artikkelissa vertaillaan suomalaisten mielipiteitä käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuudesta vuosina 2007 ja 2016. Tulosten mukaan suomalaisten suhtautuminen on muuttunut huomattavasti aikaisempaa kriittisemmäksi. Säteilyturvakeskuksen turvallisuusarvio ja valtioneuvoston myöntämä rakentamislupa eivät ole vakuuttaneet suomalaisia hankkeen turvallisuudesta. Aineistona käytettiin kahta koko maan kattavaa kansaliskyselyä.

The focus of this article is on comparing opinions of the Finns concerning safety of final disposal of spent nuclear fuel in 2007 and 2016. According to the results the opinions of the Finns have become notably more critical. The safety assessment of the Radiation and Nuclear Safety Authority and the construction license issued by the Finnish government have not convinced the Finns regarding safety of the project. The study is based on two nation-wide surveys.

## Johdanto

Suomi on maailman ensimmäinen maa, joka on aloittamassa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen. Periaatepäätös loppusijoituksesta hyväksyttiin vuosina 2000–2001. Valtioneuvosto myönsi Posiva Oy:lle kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisluvan marraskuussa 2015. Yhtiö jättää nykyisen aikataulun mukaan käyttölopahakemuksensa vuonna 2020. Loppusijoitus on tarkoitus aloittaa Eurajoen Olkiluodossa 2020-luvulla.

Ruotsissa, jota on pitkään pidetty loppusijoituksen edelläkävijämaana, päätöstä käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisesta ei ole vielä tehty. Hallituksen päätöstä odotettiin vuoden 2018 parlamenttivaalien jälkeen, mutta maa- ja ympäristöoikeuden [1] kielteinen lausunto SKB:n hakemuksesta ja vaatimukset loppusijoituskapselia koskevista lisäselvityksistä muuttanevat tilannetta. Lausunnolla on merkitystä Suomessakin, koska Posivan on tarkoitus käyttää samaa KBS3-loppusijoituskonseptia kuin Ruotsissa. Säteilyturvakeskus [2] totesi lausunnossaan, että Posivan suunnittelema laitos voidaan rakentaa turvallisesti.

Loppusijoituksen turvallisuuden ja riskien arviointi on yksinomaan asiantuntijoiden käsissä. Suomessa kansalaisten ja sidosryhmien osallistumismahdollisuudet loppusijoitushankkeessa ovat olleet selvästi vähäisemmät kuin Ruotsissa [3, 4]. Kansalaisten käsitykset loppusijoituksen turvallisuudesta vaikuttavat kuitenkin hankkeen yhteiskunnalliseen hyväksyttävyyteen.

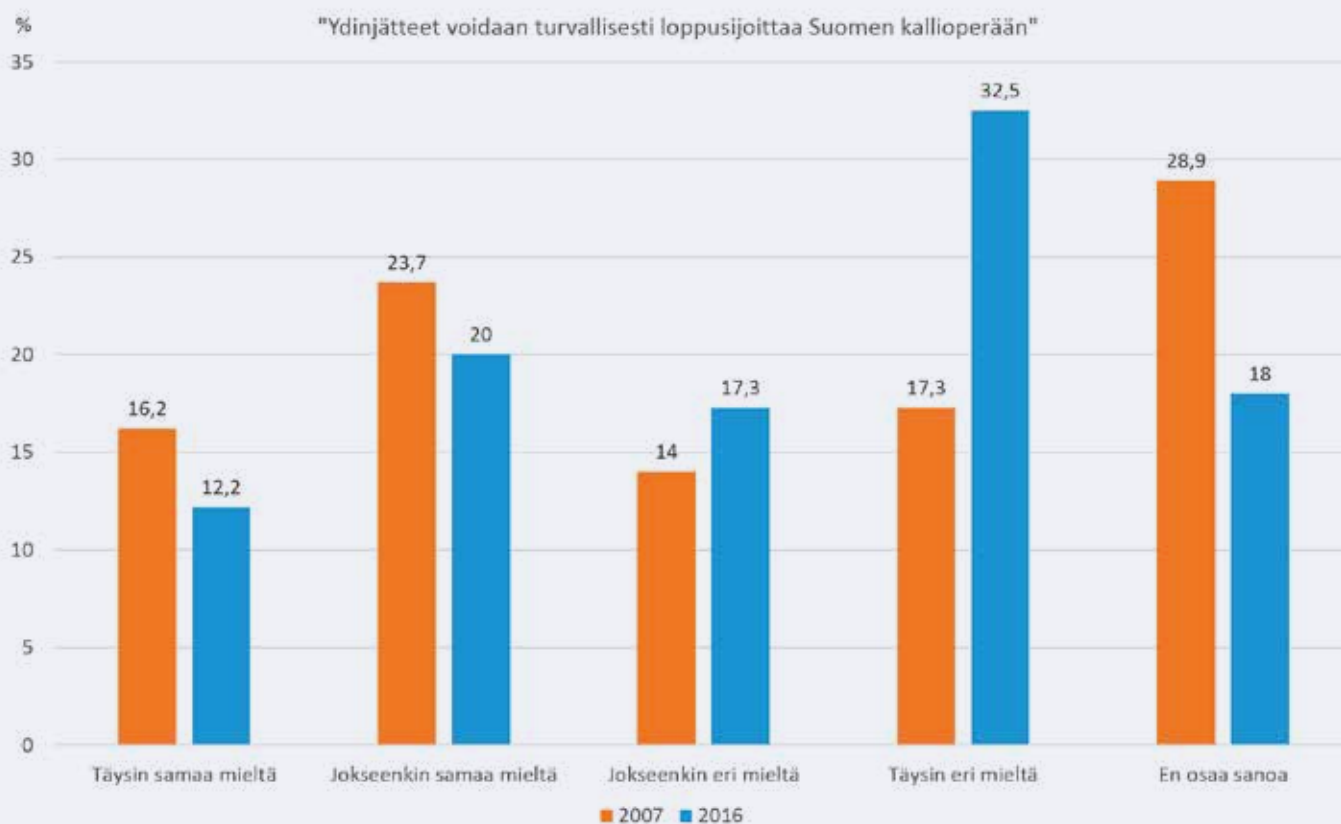
Tässä artikkelissa vertailemme suomalaisten mielipiteitä käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen turvallisuudesta vuosina 2007 ja 2016. Vuonna 2007 Suomi eli voimakasta ydinvoimaboomia.

Ydinjätteen loppusijoituslaitoksen ja Olkiluoto 3 -yksikön rakentaminen oli aloitettu, ja voimayhtiöt kilpailivat uusista ydinvoimaluvista. [5] Vuonna 2016 tilanne oli jo toisenlainen. Olkiluoto 3 -yksikön rakentaminen oli pahasti viivästynyt. Fennovoiman laitostoimittajaksi oli vaihtunut venäläinen Rosatom Fukushima onnettomuuden jälkiseurauksena. [6, 7] Fennovoiman sekä Posivan ja sen omistajien välinen kiista loppusijoituksesta on saanut vuosien mittaan verraten paljon huomiota, mutta loppusijoitushankkeen riskejä ei ole muutoin puitu julkisuudessa erityisemmin. Herääkin kysymys, miksi suomalaisten käsitykset loppusijoituksen turvallisuudesta ovat muuttuneet kriittisemmiksi.

## Aineisto

Tutkimustulokset perustuvat Suomessa vuonna 2016 kerättyyn koko maan kattavaan kyselytutkimusaineistoon suomalaisten energia-asenteista. Aineiston otokseen valikoitui 4000 18–75-vuotiaasta suomalaista. Aineisto toteutettiin ja kerättiin postikyselynä 23.8.–17.10. Kyselyn vastausprosentti oli 33,7 (N=1349). Kyselytutkimus toteutettiin Tampereen yliopistossa. [8]

Vertailuaineistoina on vuonna 2007 toteutettu kyselytutkimus. Aineisto kerättiin postikyselynä huhti-elokuussa 2007 18–75-vuotiaita edustavasta 4000 henkilön otoksesta. Kyselyn vastausprosentti oli 30 (N=1180). Kysely tehtiin osana ”Suomalaisen energiapolitiikan hallinta: Julkisesta kontrollista ja sääntelystä markkinaperusteiseen valtaan?” -tutkimusprojektia (2007–2010), jota rahoitti Suomen Akatemian Valta Suomessa -tutkimusohjelma. [9]



Kuva 1. Kansalaisten näkemykset ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta vuosina 2007 ja 2016.

### Turvallisuuskäsityksen muutos 2007–2016

Suomalaisten mielipiteet ovat muuttuneet huomattavasti aikaisempaa kriittisemmiksi koskien ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuutta. Vuonna 2007 väittämän "Ydinjätteet voidaan turvallisesti loppusijoittaa Suomen kallioperään" kanssa samaa mieltä oli 40 % vastaajista ja eri mieltä 31 % (Kuva 1). Vuonna 2016 samaa mieltä väitteen kanssa on 32 % vastaajista ja eri mieltä olevien osuus on kasvanut peräti 50 prosenttiin. Suurin muutos on tapahtunut täysin eri mieltä olevien luokassa, jossa vastaajien osuus on kasvanut 15 prosenttiyksikköä.

Tulokset osoittavat, että myös kannastaan epävarmojen osuus olisi laskenut 11 prosenttiyksikköä. Tätä tulosta tarkasteltaessa on kuitenkin otettava huomioon muutos, joka tehtiin yhteen vastausvaihtoehtoon. Vuoden 2007 kyselylomakkeessa epävarmuutta ilmaiseva vastausvaihtoehto oli muotoiltu ilmaisuksi "vaikea sanoa", ja se oli sijoitettu keskelle "jokseenkin samaa mieltä" ja "jokseenkin eri mieltä" -vaihtoehtojen väliin. Vuoden 2016 kyselyssä vaihtoehto oli sijoitettuna oikeaan reunaan viimeiseksi vaihtoehdoksi ja muotoiltu ilmaisuksi "en osaa sanoa". Kynnys valita keskelle sijoitettu "vaikea sanoa" -vastausvaihtoehto on voinut olla matalampi kuin "en osaa sanoa" -vaihtoehdon valinta.

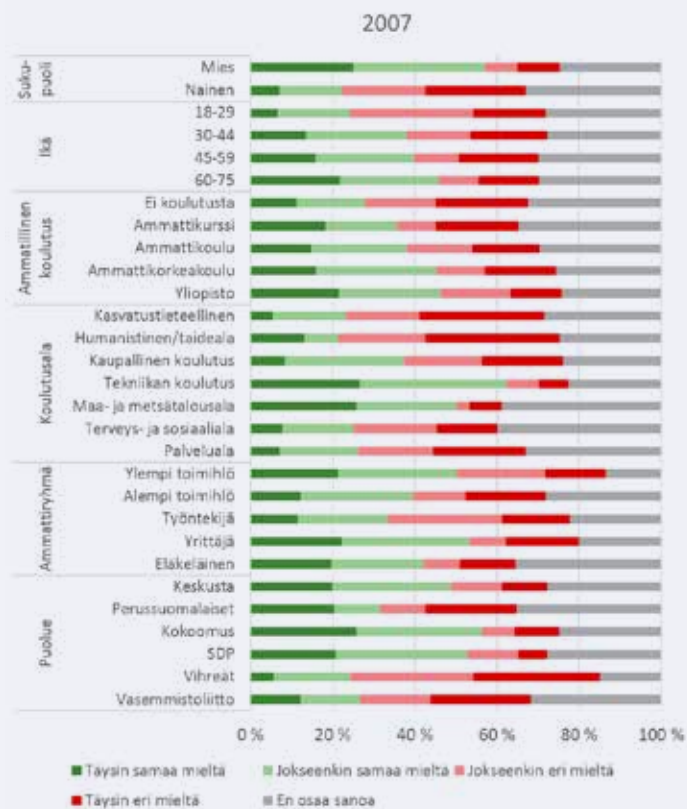
On paikallaan huomioida, että Energiategollisuuden vuosittain toteuttaman "Suomalaisten energia-asenteet" -kyselyn perusteella vastaavaa muutosta ei ole nähtävissä, sillä niissä vuosien 2007 ja 2016 jakaumat ovat hyvin samankaltaiset.<sup>1</sup> Verratessa käyttämäämme aineistoa ja Energiategollisuuden aineistoa toisiinsa vuoden 2016 osalta

huomataan, että samaa mieltä olevien osuudet ovat hyvin yhtenevät molemmissa, mutta käyttämässämme aineistossa eri mieltä olevia on noin 7 prosenttiyksikköä enemmän kuin Energiategollisuuden kyselyssä. Energiategollisuuden kyselyssä myös "vaikea sanoa" -kanta korostuu (26 %), mikä voi osittain johtua sen sijainnista keskimmäisenä vastausvaihtoehtona (vrt. "en osaa sanoa" 18 %).

Kuvissa 2 ja 3 on tarkasteltu ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuuteen liittyvien kantojen muutoksia eri taustamuuttujien suhteen. Vuoden 2007 aineistossa peräti 57 % miehistä piti loppusijoitusta Suomen maaperään turvallisena ja 21 % oli väitteen kanssa eri mieltä. Näyttäisikin siltä, että erityisesti miesten kohdalla muutosta on tapahtunut, joskin edelleen suurempi osa miehistä pitää loppusijoitusta turvallisena kuin turvattomana. Vuoden 2016 aineistossa 47 % miehistä oli väitteen kanssa samaa ja 40 % oli eri mieltä. Myös naisissa kriittisyys on lisääntynyt: vuonna 2007 väitteen kanssa oli eri mieltä 45 % naisista ja vuonna 2016 60 %. Ydinjätteiden loppusijoitusta turvallisena pitävien naisten määrä on pudonnut 9 vuodessa 22 prosentista 18 prosenttiin.

Vuoden 2007 aineistossa vanhemmat vastaajat pitivät ydinjätteiden loppusijoitusta turvallisempina kuin nuoremmat vastaajat. Vuoden 2016 aineistossa kaikkien ikäryhmien suhtautuminen loppusijoituksen turvallisuuteen on muuttunut kriittisemmäksi. Nuorimman ikäryhmän suhtautuminen on kaikista kriittisintä. Kolmen vanhemman ikäryhmän osalta jakaumat ovat keskenään kuitenkin hyvin samankaltaisia, eli verrattuna

<sup>1</sup> Energiategollisuus. Suomalaisten energia-asenteet 2016. Saatavissa [https://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/suomalaisten\\_energia-asenteet\\_2016.html](https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/suomalaisten_energia-asenteet_2016.html).



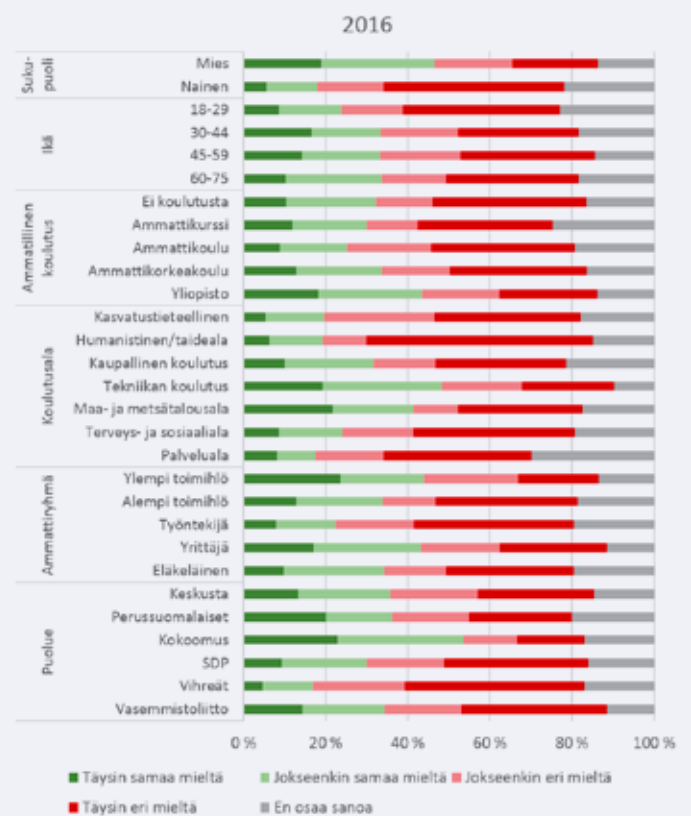
Kuva 2. Vastaajien suhtautuminen ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuuteen taustamuuttujittain vuoden 2007 aineistossa.

vuoteen 2007, erityisesti vanhimman ikäryhmän kohdalla kriittisyys on lisääntynyt. Vuonna 2007 60–75-vuotiaista 46% piti loppusijoitusta turvallisena, kun taas vuonna 2016 osuus oli enää 34%. Vastaavasti vuonna 2007 24% vanhimmista vastaajista ei pitänyt loppusijoitusta turvallisena vuoden 2016 saman luvun ollessa 48%.

Koulutusta tarkasteltaessa havaitaan, että korkeammin koulutetut pitävät loppusijoitusta keskimäärin turvallisempina kuin matalammin koulutetut. Vuoden 2016 aineistossa lyhyen ammatillisen koulutuksen saaneet pitävät loppusijoitusta vähiten turvallisena, kun taas yliopistokoulutetuista edelleen niukasti suurempi osa (44%) pitää loppusijoitusta turvallisena kuin turvattomana (43%). Vuoteen 2007 verrattuna kriittisyys on selvästi lisääntynyt, ja suurin muutos on tapahtunut matalasti koulutettujen kohdalla. Koulutusaloittain tarkasteltuna tekniikan ja maa- ja metsätalousalan koulutuksen saaneet pitävät loppusijoitusta turvallisempina kuin muut, joskin heidänkin keskuudessa kriittisyys on lisääntynyt huomattavasti. Vuonna 2007 tekniikan koulutuksen saaneista loppusijoitusta turvallisena piti jopa 62% ja turvattomana vain 15% vastaajista, kun taas vuonna 2016 vastaavat luvut olivat 48% ja 42%.

Ammattiryhmistä työntekijät näkevät loppusijoituksen vähiten turvallisena. Sen sijaan ylemissä toimihenkilöissä ja yrittäjissä on eniten loppusijoitusta turvallisena pitäviä, joskin heidänkin kohdallaan prosentit menevät hyvin tasan turvallisena pitävien ja pitämättömien välillä (reilu 40% kummassakin ryhmässä).

Kokoomusta äänestävät näkevät loppusijoituksen turvallisimpina, sillä heistä yli puolet on väitteen kanssa samaa mieltä. Vihreät suhtautuvat odotetusti loppusijoituksen turvallisuuden kriittisimmin, sillä heistä yli 60% on väitteen kanssa eri mieltä. Myös perussuomalaisia äänestävissä on muihin verrattuna enemmän ydinjätteiden turvalliseen loppusijoitukseen uskovia, joskin heissäkin vastaajista



Kuva 3. Vastaajien suhtautuminen ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuuteen taustamuuttujittain vuoden 2016 aineistossa.

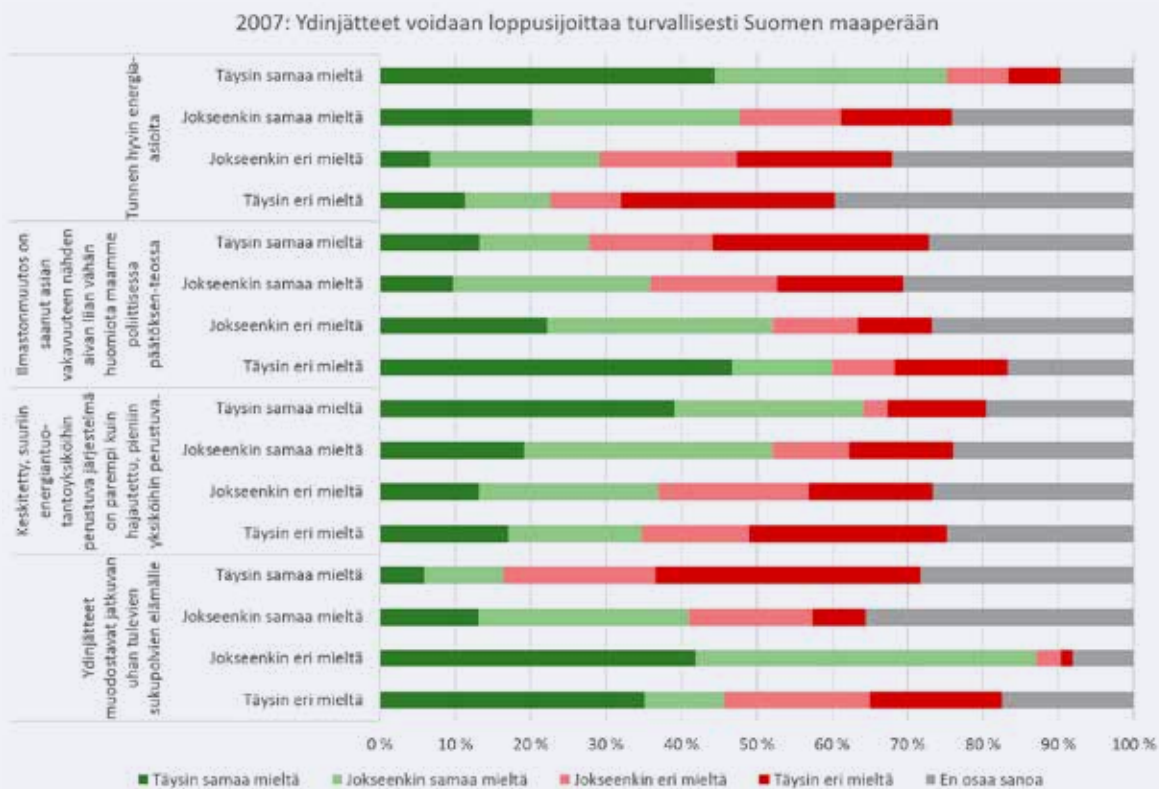
suurempi osa kuuluu loppusijoitusta turvattomana kuin turvallisena pitäviin. Verrattuna vuoteen 2007 erityisesti keskustaa ja sosialidemokraatteja äänestävien mielipiteet ovat muuttuneet kriittisimmiksi, sillä vielä vuoden 2007 aineistossa selvä enemmistö heistä piti loppusijoitusta turvallisena.

Vastaajan suhtautumisella ydinvoiman käytön kehittämiseen ja loppusijoituksen turvallisuuden näyttäisi olevan kaksi piirrettä. Ensinnäkin he, joiden mielestä ydinvoiman käyttöä tulisi lisätä tuntuvasti, ovat entistä vahvemmin sitä mieltä, että loppusijoitus on turvallista. Toisekseen ydinvoiman käytön vähentämisen kannalla olevat ovat entistä varmempia siitä, että loppusijoitus ei ole turvallista. Toisin sanottuna näyttäisi siltä, että mielipiteet ovat vahvistuneet entistä enemmän siten, että ydinvoiman käytön lisäämistä kannattavat uskovat myös loppusijoituksen turvallisuuden ja ydinvoiman käytön vähentämistä kannattavat uskovat yhä vähemmän sen turvallisuuteen.

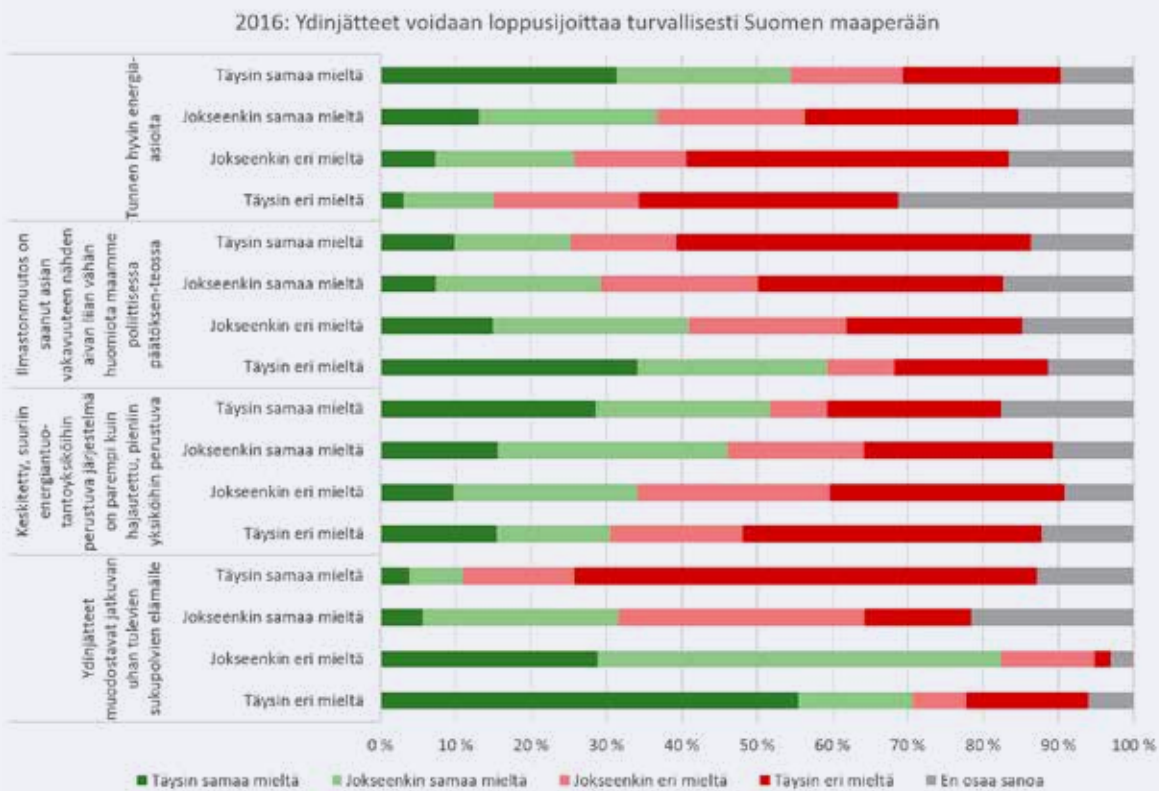
Ne vastaajat, joiden mielestä ydinvoiman käyttö on nykyisellään sopivaa, suhtautuvat vuoden 2016 aineistossa selvästi vuoden 2007 aineiston vastaajia positiivisemmin loppusijoituksen turvallisuuteen. Toisaalta myös suhtautuminen ydinvoiman käyttöön on muuttunut siten, että käytön lisäämistä kannattavien osuus on vähentynyt ja nykyisellään sopivana pitävien tai vähentämistä kannattavien lisääntynyt.

Sekä vuoden 2016 että 2007 vuoden kyselyissä energia-asioita omasta mielestään parhaiten tuntevat pitävät loppusijoitusta turvallisempina kuin energia-asioita vähemmän tuntevat (Kuvat 4 ja 5). Vuoden 2016 aineistossa täysin samaa mieltä väitteen ”Tunnen hyvin energia-asioita” kanssa olevista 54% piti loppusijoitusta turvallisena ja 36% ei-turvallisena. Vastaavasti jokseenkin eri mieltä väitteestä olevista loppusijoitusta turvallisena piti vain 26% ja ei-turvallisena 58%.





Kuva 4. Ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuus vuoden 2007 kyselyssä.



Kuva 5. Ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuus vuoden 2016 kyselyssä.

Mielipiteet ovat joka tapauksessa muuttuneet kriittisemmiksi kaikissa tietämyksen luokissa vuodesta 2007. Vuonna 2007 energia-asioita parhaiten tuntevista jopa yli 70 % piti loppusijoitusta turvallisena. Samoin toiseksi parhaiten energia-asioita tuntevista lähes puolet piti loppusijoitusta turvallisena vielä vuonna 2007, mutta vuonna 2016 luku oli alle 40 %. Vuoden 2016 aineistossa ainoastaan parhaiten energia-asioita tuntevien luokassa suurempi osa vastaajista piti loppusijoitusta turvallisena kuin turvattomana.

Myös suhtautumisella ilmastonmuutoksen saamaan huomioon ja ydinjätteiden turvalliseen loppusijoitukseen on yhteys. Ne vastaajat, joiden mukaan ilmastonmuutos on saanut liian vähän huomiota maamme poliittisessa päätöksenteossa, suhtautuvat huomattavasti kriittisemmin ydinjätteiden turvalliseen loppusijoittamiseen kuin ne, jotka ovat eri mieltä ilmastonmuutoksen saamista liian vähäisestä huomiosta.

Vastaajista, jotka olivat täysin samaa mieltä ilmastonmuutoksen saamista liian vähäisestä huomiosta, vain neljännes uskoo turvalliseen loppusijoitukseen, kun taas täysin eri mieltä väitteen kanssa olevista siihen uskoo lähes 60 % vastaajista. Toisaalta myös niissä luokissa, joissa ilmastonmuutoksen ei nähdä saaneen liian vähän huomiota, melko suuri osa ei pidä loppusijoitusta turvallisena. Esimerkiksi jokseenkin eri mieltä väitteen kanssa olevista loppusijoitusta turvallisena pitää 41 % ja ei-turvallisena 44 % vastaajista.

Vastaajat, jotka uskovat keskitetyn, suuriin energiantuotantoyksiköihin perustuvan järjestelmän olevan parempi kuin hajautetun, pieniin yksiköihin perustuvan, pitävät käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta muita turvallisempina. Väitteen kanssa eri mieltä olevista enemmistö ei näe ydinjätteiden loppusijoitusta Suomen kallioperään turvallisena, kun taas samaa mieltä olevista suurempi osa pitää loppusijoitusta turvallisena.

Täysin samaa mieltä väitteen ”Ydinjätteet muodostavat jatkuvan uhan tulevien sukupolvien elämälle” kanssa olevista selvä enemmistö ei usko myöskään ydinjätteiden turvalliseen loppusijoitukseen. Mielenkiintoista on, että vastaajista, jotka olivat jokseenkin samaa miel-

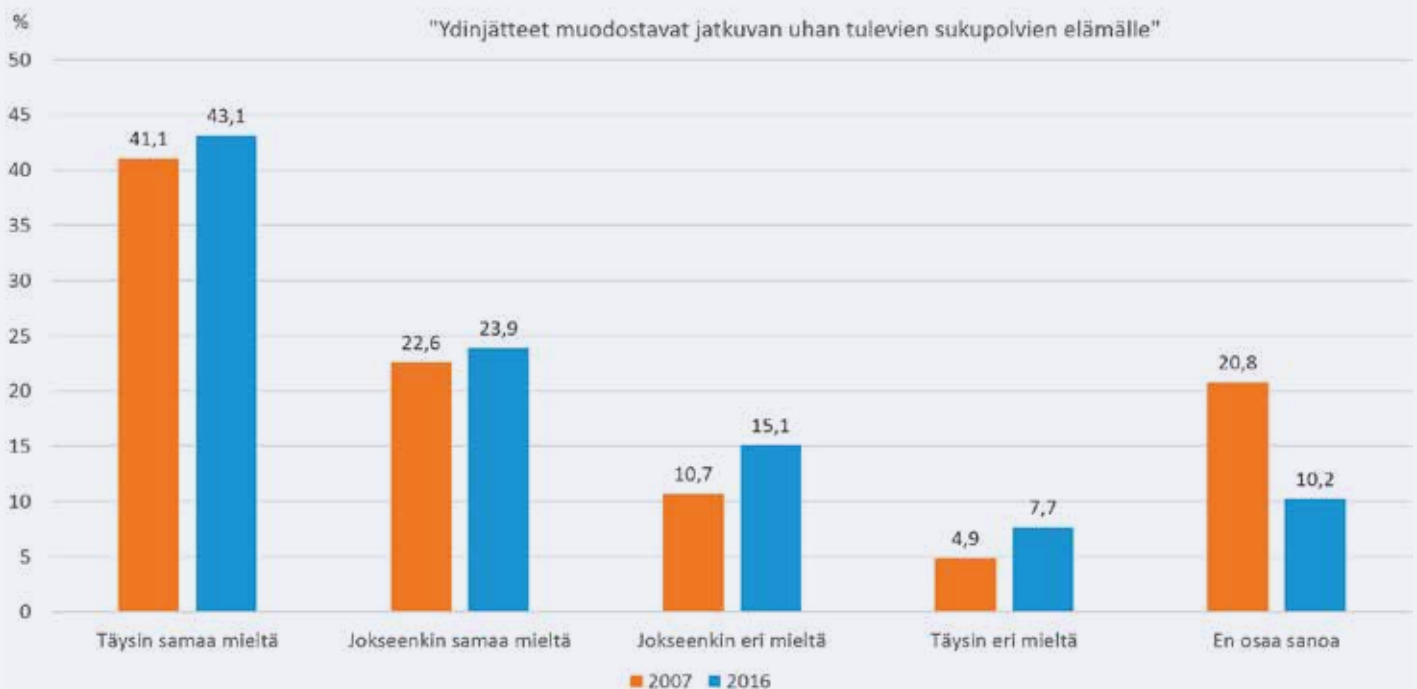
tä ydinjätteiden muodostamasta jatkuvasta uhkasta, kuitenkin yli 30 % pitää loppusijoitusta turvallisena. Vuoden 2007 kyselyssä tämä luku on peräti yli 40 % ja näin ollen suurempi ryhmä kuin loppusijoituksen ei-turvallisena näkevät.

Eri mieltä ydinjätteiden muodostamasta jatkuvasta uhkasta olevista selvä enemmistö pitää myös loppusijoitusta turvallisena. Tässäkin kohdassa voidaan huomata asenteiden kiristyminen vuosien 2007 ja 2016 välillä. Erityisen näkyvää on muutos siinä, että vielä vuonna 2007 jokseenkin samaa mieltä väitteen ”Ydinjätteet muodostavat jatkuvan uhan tulevien sukupolvien elämälle” kanssa olevista suurempi osa piti kuitenkin loppusijoitusta turvallisena. Vuonna 2016 tässä ryhmässä suurempi osa ei pitänyt loppusijoitusta turvallisena.

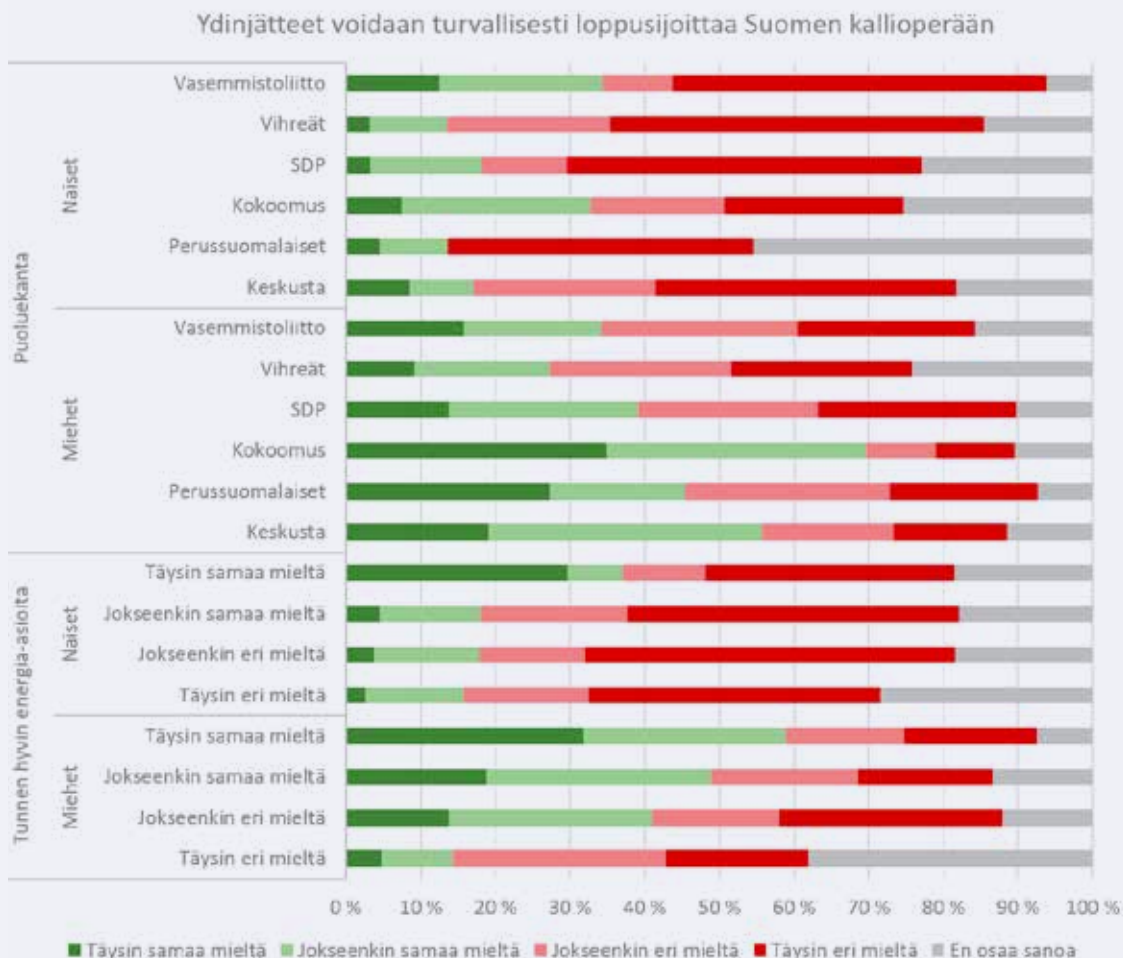
Uusimman aineiston mukaan enemmistö suomalaisista pitää ydinjätteitä jatkuvana uhkana tulevien sukupolvien elämälle (Kuva 6). Kaksi kolmasosaa suomalaisista on täysin tai jokseenkin samaa mieltä väitteen kanssa. Täysin ydinjätteiden muodostaman uhan kiistäviä on alle kahdeksan prosenttia vastaajista. Tutkimustulosten perusteella näyttäisi siltä, että vaikka käsitys ydinjätteiden loppusijoittamisen turvallisuudesta on heikentynyt, koettu pitkän aikavälin uhka tulevien sukupolvien elämälle ei ole noussut ainakaan samassa suhteessa.

### Miesten ja naisten väliset erot loppusijoituksen turvallisuudessa

Naisten ja miesten turvallisuusmielipiteiden välillä on selvä ero. Kiinnostavaa on, että siinä missä miehillä sekä iällä, koulutustasolla, ammattiryhmällä, puoluekannalla sekä energia-asioiden tietämyksellä on tilastollisesti merkitsevä yhteys vastaajan mielipiteeseen ydinjätteiden turvallisesta loppusijoituksesta, naisilla näistä tilastollisesti merkitseviä ovat vain puoluekanta ja energia-asioiden tietämys. Toisin sanottuna naisten kohdalla iällä, koulutustasolla tai ammattiryhmällä ei ole yhtä suurta yhteyttä mielipiteeseen loppusijoituksen turvallisuudesta kuin miesten kohdalla.



Kuva 6. Vuoden 2007 ja 2016 kyselyjen jakaumat väitteeseen ”Ydinjätteet muodostavat jatkuvan uhan tulevien sukupolvien elämälle”.



Kuva 7. Miesten ja naisten suhtautuminen ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuuteen suhteessa puoluekantaan ja energia-asioiden tuntemukseen.

Pelkästään miehiä tarkasteltaessa huomataan, että erityisesti 30–44-vuotiaat miehet pitävät loppusijoitusta turvallisena. Tästä ikäryhmästä yli neljännes on väitteen ”Ydinjätteet voidaan turvallisesti loppusijoittaa Suomen kallioperään” kanssa täysin samaa mieltä. Myös tätä vanhemmat miehet pitävät loppusijoitusta turvallisena. Ainoastaan 18–29-vuotiaista miehistä suurempi osa on väitteen kanssa eri kuin samaa mieltä.

Myös koulutustason yhteys turvallisuusnäkökulmaan on miehillä selvempi kuin naisilla. Siinä missä naisilla tätä tilastollisesti merkitsevää yhteyttä ei ole, miehissä korkeammin koulutetuista suurempi osuus pitää ydinjätteiden loppusijoitusta turvallisena kuin matalammin koulutetuista. Kaksi kolmasosaa yliopistotason koulutuksen saaneista miehistä uskoo turvalliseen loppusijoitukseen. Lyhyen ammatillisen koulutuksen saaneiden miesten kohdalla luvut jäävät selvästi pienemmiksi, sillä esimerkiksi ammattikoulun käyneistä miehistä vain noin kolmannes pitää loppusijoitusta turvallisena.

Miesten tarkastelu ammattiryhmittäin tukee ajatusta siitä, että hyväosaiset pitävät loppusijoitusta keskimääräistä turvallisempina. Esimerkiksi miehistä, jotka ovat ylempiä toimihenkilöitä, yli 25 prosenttiyksikköä suurempi osa pitää loppusijoitusta turvallisena verrattuna miehiin, jotka ovat ammattiryhmältään työntekijöitä. Toisaalta myös eläkkeellä olevista miehistä selvä enemmistö pitää loppusijoitusta turvallisena. Naisten kohdalla aineistossa ei nouse esiin tarpeeksi suuria

eroja eri ammattiryhmien välillä suhtautumisessa ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuuteen, jotta tulokset olisivat tilastollisesti merkitseviä ja yleistettävissä koko populaatioon.

Kuvassa 7 tarkastellaan miesten ja naisten suhtautumista loppusijoituksen turvallisuuteen suhteessa vastaajan puoluekantaan ja omaan arvioon energia-asioiden tietämykseen. Miehissä kokoomuksen, keskustan ja perussuomalaisen äänestäjät pitävät ydinjätteen loppusijoitusta turvallisena keskimäärin useammin kuin vihreiden, vasemmistoliiton tai sosialidemokraattien äänestäjät.

Naisten kohdalla tulokset ovat yllättävämpiä: aineistossa ydinjätteiden sijoitusta turvallisimpana näyttävät pitävän vasemmistoliiton ja kokoomuksen äänestäjät. Vihreiden lisäksi perussuomalaisen, keskustan ja sosialidemokraattien äänestäjät taas ovat väitteen kanssa vähiten samaa mieltä. Toisaalta vasemmistoliittoa äänestävissä naisista suuri osa on myös väitteen kanssa eri mieltä. Vasemmistoliittoa ja perussuomalaisia kannattavien naisten kohdalla tuloksiin tulee myös suhtautua varauksella, sillä tuloksissa saattaa painottua liikaa yksittäisten henkilöiden vastaukset. Voitaneen kuitenkin sanoa, että molempien sukupuolien kohdalla vihreät suhtautuvat varautuneimmin ja kokoomuslaiset myönteisimmin väitteeseen ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta. Keskustaa äänestävät miehet pitävät loppusijoitusta turvallisena, kun taas naiset suhtautuvat siihen hyvin kriittisesti.

Myös energia-asioiden tietämyksen tason yhteys mielipiteeseen loppusijoituksen turvallisuudesta eroaa miesten ja naisten välillä. Siinä missä miesten kohdalla loppusijoitusta turvallisena pitävien osuus kasvaa tasaisesti sen mukaan, miten hyvin vastaaja tuntee omasta mielestään energia-asioita, naisten kohdalla yhteys ei ole yhtä selvä. Naistenkin kohdalla parhaiten energia-asioita tuntevat pitävät loppusijoitusta useammin turvallisena kuin vähemmän energia-asioita tuntevat, mutta tässä parhaitenkin energia-asioita tuntevien luokassa suurempi osa ei pidä loppusijoitusta turvallisena. Muissa tietämyksen tason luokissa loppusijoitusta turvallisena pitävien suhteellinen osuus on melko samanlainen. Molempien sukupuolien kohdalla hyvä energia-asioiden tuntemus on yhteydessä näkemykseen ydinjätteiden turvallisesta loppusijoituksesta, joskin naisista enemmistö ei pidä sijoitusta turvallisena edes parhaiten energia-asioita tuntevien joukossa.

### Johtopäätökset

Vuoden 2007 ja 2016 energiakyselyaineistojen perusteella voidaan sanoa, että suomalaisten mielipiteet ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta ovat muuttuneet selvästi kriittisemmiksi. Muutos on suurinta miesten, vanhimpien vastaajien, matalasti koulutettujen sekä keskustaa ja sosialidemokraatteja äänestävien keskuudessa.

Miesten kohdalla loppusijoitusta ei-turvallisena pitävien osuus on kaksinkertaistunut. Vanhimmat vastaajat ja sosialidemokraatteja äänestävät erottunevat aineistosta siksi, että vielä 2007 nämä vastaajat pitivät loppusijoitusta muita turvallisempina, jolloin suhteellinen muutos on suuri. Ydinvoiman käyttöön energianlähteenä suhtautumisen yhteys mielipiteeseen loppusijoituksen turvallisuudesta on muuttunut siten, että ydinenergian käytön lisäämisen kannattajat pitävät loppusijoitusta yhä useammin turvallisena ja vähentämisen kannattajat yhä vähemmän turvallisena.

Miesten ja naisten välillä on selvä mielipide-ero sen suhteen, pitävätkö he loppusijoitusta turvallisena. Eron syiden selvittäminen vaatisi tarkempaa tilastollista analyysia siitä, millaiset tekijät ovat yhteydessä sukupuolten välisiin eroihin. Asiasta tarvitaan jatkotutkimusta.

Miesten kohdalla jonkinlainen hyväosaisuus saattaa olla yhteydessä ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisena pitämiseen, kun taas naisilla tällaisia eroja ei aineistosta löytynyt. Sen sijaan naiset näyttivät suhtautuvan turvalliseseen loppusijoitukseen miehiä kriittisemmin riippumatta siitä, mikä heidän koulutustasonsa tai ammatillinen asemansa oli. Verrattaessa tuloksia Energiategollisuuden asennetutkimuksien tuloksiin havaittiin, ettei niissä ollut tapahtunut vastaavaa kriittisyyden lisääntymistä. Tosin kyseisten tutkimusten aikasarjojen vertailua hankaloittaa vuonna 2012 tapahtunut muutos aineistonkeruussa [12].

### Pohdinta

Mistä mielipidemuutos sitten johtuu? Millaisilla selitysmalleilla muutosta voidaan yrittää ymmärtää? Ensinnäkin näyttää siltä, että loppusijoitushankkeen institutionaalinen hyväksyntä ei ole vaikuttanut kansalaisten mielipiteisiin. On mielenkiintoista havaita, että Säteilyturvakeskuksen

myönteinen turvallisuusarvio loppusijoituksesta ja valtioneuvoston myöntämä rakentamislupa eivät ole vahvistaneet suomalaisten mielipiteitä loppusijoituksen turvallisuudesta. Esimerkiksi vuonna 2002 eduskunnan ydinvoimapäätöksen jälkeen suomalaisten suhtautuminen uuden ydinvoimalaitosyksikön rakentamiseen muuttui myönteisemmäksi, vaikka se sitä ennen oli ollut lisäydinvoimalle kriittinen [10].

Toiseksi loppusijoitushanketta koskeva uutisointi, joka on tekeillä olevan tutkimuksen mukaan ollut suurimmissa suomalaisissa sanomalehdissä yleissävyltään neutraalia ja jopa myönteistä verrattuna Ruotsiin [11], ei myöskään näytä neutralisoinneen kansalaisten turvallisuusepäilyjä.

Ehkä selitysmallia pitääkin hakea ydinjättesektorin ulkopuolelta – kokonaisturvallisuuden kokemisesta. Suomalaisten asenteiden muutoksen tulkitsemiseen tarvitaan tässä tapauksessa yleisempää teoretisointia turvallisuudesta. Turvallisuus on moniulotteinen käsite, joka viittaa paitsi yksittäisiin erityiskysymyksiin, kuten turvallisiksi koettuun ydinjätehuoltoon, niin myös laajempiin turvallisuuskysymyksiin. Yksilöiden turvallisuuskäsitykset eivät välttämättä palaudu erityiskysymyksiin, vaan turvallisuuskäsitykset ovat subjektiivisesti koettuja, intersubjektiivisesti jaettuja käsityksiä myös kokonaisturvallisuudesta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tulkintoihimme jonkin asian turvallisuudesta vaikuttavat myös tulkintamme yleisemmästä turvallisuustilanteesta ja tietoisuutemme tämän hetken turvallisuusuhkista.

Tarkastelun kohteeksi voidaankin ottaa kysymys siitä, miten yleinen turvallisuustilanne on muuttunut vuosien 2007 ja 2016 välillä. Esimerkiksi sellaiset tekijät kuin kansainvälispoliittisen tilanteen kiristyminen, Syyrian ja Ukrainan sodat, Krimin valtaus, EU:n pakolaiskriisi, terrorismin lisääntyminen ja lisääntynyt tietoisuus ilmastonmuutoksesta, ovat vaikuttamassa yksilöiden turvallisuuskäsityksiin. Tätä taustaa vasten on ymmärrettävissä, ettei valtioneuvoston päätös loppusijoitushankkeen rakentamisluvasta eikä aiheen neutraali tai myötäsukainen käsittely tiedotusvälineissä lisää hankkeen yleistä hyväksyttävyyttä ja tuota kokemusta loppusijoituksen turvallisuudesta.

Selitysmalleja pohdittaessa mielipidemuutos on joka tapauksessa muistutus siitä, että loppusijoitushankkeen ei tulisi nojata Suomesakaan teknokraattispainotteeseen lähestymistapaan. Sosiaalisen toimiluvan ylläpitäminen edellyttää, että alan keskeisten toimijoiden ja kansalaisten väliseen vuorovaikutukseen ja viestintään panostetaan jatkossa enemmän.

### Kiitokset

Vuoden 2016 kyselytutkimus toteutettiin Tampereen yliopistossa osana ”Transition to a resource efficient and climate neutral electricity system” (EL-TRAN, nro 314319) -hanketta, jota rahoittaa Strategisen tutkimuksen neuvosto. Aineisto analysoitiin osana Tampereen yliopiston SAFER-hanketta, jota rahoittaa Kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT2018) ja ”Collaborative remedies for fragmented societies – facilitating the collaborative turn in environmental decision-making” (CORE, nro 313015) -hanketta, jota rahoittaa Strategisen tutkimuksen neuvosto.

### Viitteet

- [1] Mark- och miljödomstolen (MMD) (2018) Yttrande 2018-01-23. Nacka tingsrätt. <http://www.nackatingsratt.domstol.se/Domstolar/nackatingsratt/M1333-11/Nacka%20TR%20M%201333-11%20Yttrande%20till%20regeringen%202018-01-23.pdf>
- [2] STUK (2015) Säteilyturvakeskuksen lausunto Olkiluodon käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisesta, <http://www.stuk.fi/documents/12547/207522/stukin-lausunto-posivan-rl-hakemuksesta-temille.pdf/9b62b852-e80e-4a57-b01b-619f6d5c09c0> (Luettu 27.6.2017)

- [3] Litmanen, T., Kari, M., Kojo, M. & Solomon, B. (2017) Is There a Nordic Model of Final Disposal of Spent Nuclear Fuel? Governance Insights from Finland and Sweden. *Energy Research & Social Science*. 25(March 2017), 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.10.009>
- [4] Litmanen, T., Kojo, M., Kari, M., & Vesalainen, J. (2017) Does technical risk dialogue entail socioeconomic evaluation? The case of scientific dispute over copper corrosion in a spent nuclear fuel disposal project. In: *Socioeconomic Evaluation of Megaprojects. Dealing with uncertainties*. Eds. Lehtonen, M., Joly, P.-B., & Aparicio, L. Routledge, London & New York, 134–158.
- [5] Litmanen, T. & Kojo, M. (2011). Not excluding nuclear power: the dynamics and stability of nuclear power policy arrangements in Finland. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 8(3), 171–194. [doi.org/10.1080/1943815X.2011.585652](https://doi.org/10.1080/1943815X.2011.585652)
- [6] Syrjämäki, E., Kojo, M., & Litmanen, T. 2015. Muuttunut hanke: Fennovoiman ydinvoimalahankkeen YVA-yleisötilaisuudet Pyhäjoella vuosina 2013–2014. YFI julkaisu 2, Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-39-6246-3> (Luettu 27.1.2016)
- [7] Aalto P., Nyyssönen, H., Kojo, M. & Pal, P. (2017) Russian nuclear energy diplomacy in Finland and Hungary. *Eurasian Geography and Economics*, 58(4), 386–417, DOI: 10.1080/15387216.2017.1396905
- [8] Ruostetsaari, I. (2018), Kansalaisten ja energiaeliitin Suomen energiapolitiikkaa koskevat asenteet vuosina 2007–2016: kiulu vai konsensus? *Politiikka*, 60(1), 19–37.
- [9] Ruostetsaari, I. (2010), Energiavalta. Eliitti ja kansalaiset muuttuvilla energiamarkkinoilla. Tampere: Tampere University Press.
- [10] Energiatieteellisyys (2017) Suomalaisten energia-asenteet 2017. Joulukuu 2017. [https://energia.fi/files/2229/Energiatieteellisyys\\_-\\_Energia-asenteet\\_2017.pdf](https://energia.fi/files/2229/Energiatieteellisyys_-_Energia-asenteet_2017.pdf) (Luettu 21.2.2018)
- [11] Kojo, M., Kari, M., Litmanen, T. & Vilhunen, T. (forthcoming) High profile risk cases in the media. Print media attention to licensing procedures for spent nuclear fuel repositories in Finland and Sweden.
- [12] Taivalantti, K. 2016. Sähkömarkkinat suomalaisten silmin. *Energiaa, energiayhtiöitä ja sähkön kilpailuttamista koskevat asenteet ja niiden muutos*. Sosiologian pro gradu -tutkielma, Tampereen yliopisto, Yhteiskunta- ja kulttuuritieteiden yksikkö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:uta-201606031788> (Luettu 6.6.2018)

#### Kirjoittajat



**YTM Anna-Riikka Aarnio**

Aarnio työskenteli tutkimusavustajana Tampereen yliopiston johtamiskorkeakoulussa vuonna 2017.



**YTT Matti Kojo**

Tutkijatohtori  
Tampereen yliopisto, johtamiskorkeakoulu  
[matti.kojo@uta.fi](mailto:matti.kojo@uta.fi)



**YTT, dosentti Tapio Litmanen**

Sosiologian professori  
Jyväskylän yliopisto, yhteiskuntatieteiden  
ja filosofian laitos  
[tapio.a.litmanen@jyu.fi](mailto:tapio.a.litmanen@jyu.fi)

# Puhdas grafiitti ei syty tuleen

Henri Loukusa<sup>1</sup>, Ville Sahlberg<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Puhdasta, ydinlaatuista grafiittia käytetään tietyissä reaktortyypeissä neutronimoderaattorina. Yleisessä keskustelussa ja kirjallisuudessa grafiitin sanotaan syttyvän tuleen, vaikka väite on vähintäänkin kyseenalainen. Puhtaan grafiitin hapettumisreaktion nopeus on kemiallisista syistä vahvasti rajoitettu. Reaktiossa vapautunut energia ei pysty aikaansaamaan itseään ylläpitävää palamisreaktiota, vaan tarvitsee ulkoisen lämmönlähteen. Tällainen lämmönlähde löytyi esimerkiksi Windscalen ja Tšernobylin onnettomuuksissa.

Pure, nuclear-grade graphite is used as a neutron moderator in certain reactor types. In the literature and in common discourse graphite is said to catch fire, even though the claim is questionable. The rate of oxidation of pure graphite is strongly limited due to chemical effects. The energy released from the reaction cannot maintain a self-sustaining combustion reaction, but needs an external heat source. Such a heat source was present in the Windscale and Chernobyl accidents.

Grafiitti on hiiltä järjestäytyneessä hilarakenteessa, joka koostuu päällekkäin pinotuista grafeenilevyistä. Järjestäytyneen hilarakenteen vuoksi sillä onkin useita mielenkiintoisia ominaisuuksia, ja hiilen neutronisten ominaisuuksien vuoksi grafiittia käytetään neutronien hidastamiseen. Usein grafiitista kuulee puhuttavan kuin se käyttäytyisi kuin parempikin saunan lämmike; poltetaanhan kivihiiltäkin. Jos kuitenkin täyttäisit saunan pesän ydinlaatuksella grafiitilla ja yrittäisit sitä sytyttää, ei lämpöä saunaan tulisi kuin tulitikuista. Ydinlaatuinen grafiitti ei nimittäin syty samaan tapaan kuin koivuhalko, vaan ennemminkin sitä voisi verrata tiukasti suljettuun kirjaan [1]. Yksittäiset kirjan sivuthan palavat hyvin, mutta kokonaisen kirjan polttaminen kerralla vaatii jo yrittystä.

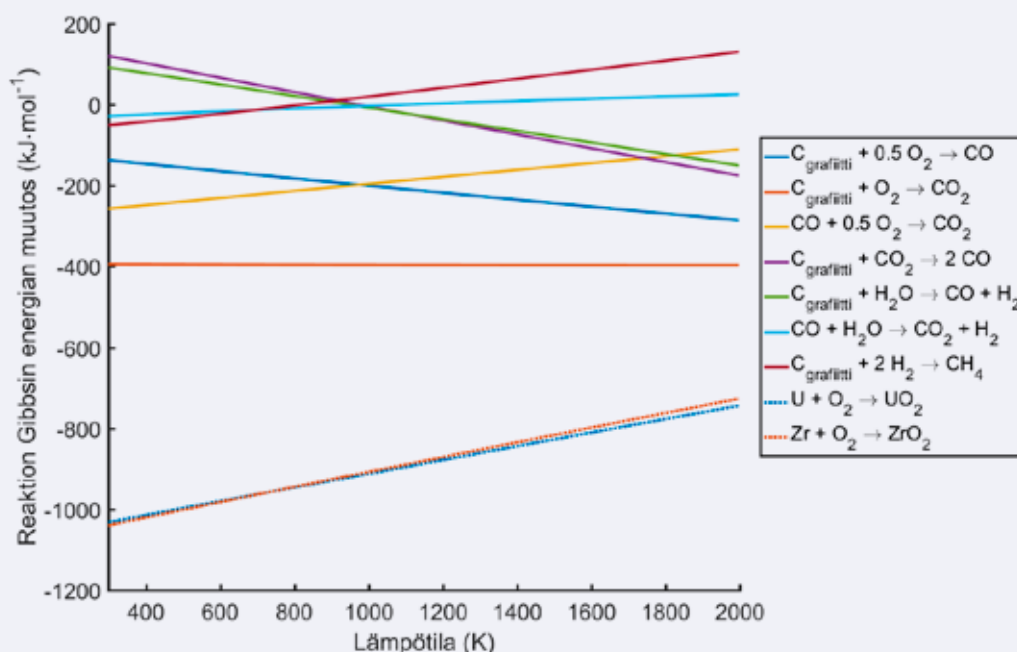
Palamista ajatellaan useimmiten tapahtuvan vain hapettumisreaktiossa ilman hapen kanssa, mutta samanlaisena tapahtumana voi pitää myös hapettumista jonkin toisen hapettimen kanssa. Palamisreaktiona voi ajatella myös raudan ruostumista, joskin hitaana sellaisena. Toisenlaista palamista on nopea, itseään ylläpitävä hapettumisreaktio, eli se mitä tapahtuu saunan pesässä kuivalle koivuhalolle. Tällaisessa reaktiossa vapautuu tarpeeksi lämpöä, jotta palaminen jatkuu eikä sammu itsestään. Suomen kielen käsitteistä tuleen syttyminen vastannee parhaiten tätä kemiallista itseään ylläpitävää ketjureaktiota. Tarkkaan ottaen tuleen syttyminen vaatii syntyäkseen polttoainetta, lämpöä, hapettimen ja itseään ylläpitävän hapettumisreaktion. Kun yksi näistä poistetaan, ei tuleen syttymistä tapahdu.

## Kaikki hapettuminen ei johda syttymiseen

Mistä sitten johtuu, ettei grafiitti pysty ylläpitämään itseään ylläpitävää palamisreaktiota? Hiilihän itsessään reagoi hapen kanssa, ja hiilen reaktio hapen kanssa vapauttaa energiaa. Tähänhän perustuu kivihiilen polttaminen. Kuvassa 1 on esitetty hiilen, uraanin ja zirkoniumin hapettumiseen liittyviä reaktioita. Kuvasta näemme, että kaikkien kolmen palaminen on termodynaamisesti suotuisaa kaikissa lämpötiloissa. Hapessa suotuisin lopputuote on lämpötilasta riippumatta hiilidioksidi. Hapettumistuotteena veden kanssa alle tuhannen kelvinin lämpötiloissa on lopputuotteena hiilidioksidi, kun taas korkeammissa lämpötiloissa hiilimonoksidi. Uraanin ja zirkoniumin hapettuessa näyttäisi vapautuvan yli kaksi kertaa enemmän energiaa kuin grafiitin hapettuessa. Tämä vastaa kuitenkin energiaa, joka vapautuu tietyn ainemäärän reagoidessa. Taulukossa 1 on esitetty viitteelliset lämpöarvot puhtaille aineille, joista nähdään, että grafiitin lämpöarvo kilogrammaa kohden on suurempi kuin metallien. Tämä johtuu hiilen pienemmästä atomipainosta.

*Taulukko 1. Uraanin, zirkoniumin ja grafiitin lämpöarvot massaa ja tilavuutta kohden. Lämpöarvo on laskettu 25 celsiusastessa puhtaan aineen hapettumiselle dioksidiksi.*

	MJ/kg	GJ/m <sup>3</sup>
U	-4.3	-82.8
Zr	-11.4	-74.3
Grafiitti	-32.9	-73.3



Kuva 1. Grafiitin hapettumiseen liittyvien reaktioiden Gibbsin energian muutoksia. Negatiivinen muutos tarkoittaa, että reaktio on termodynaamisesti suotuisa kyseisessä lämpötilassa. Arvot laskettu FACTSage-tietokannan perusteella.

Termodynamiikka ei kuitenkaan kerro kaikkea. Termodynaamisia suureita tuijottaen saamme selville vain sen, vapauttaako reaktion tapahtuminen energiaa vai sitooko reaktio sitä. Grafiitin olettaminen kivihiihen tai vapaiden hiiliatomien kaltaiseksi on virheellistä, sillä grafiitti esiintyy melko huokoisina kiteinä. Grafiittikiteet ovat ydinlaatuisessa grafiitissa erittäin puhtaita. Epäpuhtauksien vähentäminen kidehilassa vähentää myös reaktiivisia kohtia, joissa happi voi reagoida grafiitin kanssa. Jotta happi voi reagoida reaktiivisen hiiliatomien kanssa, on sen ensin päästävä tällaiselle reaktiiviselle paikalle. Huokoisessa grafiitissa hapen matka on kuitenkin mutkikas, ja diffuusio hidasta.

Matalassa lämpötilassa hapella on aikaa diffusoitua grafiitin sisään, ja hapettumista tapahtuu myös grafiitin sisäisillä reaktiivisilla paikoilla. Tällöin reaktionopeutta rajoittaa itse hapettumisreaktion nopeus. Korkeassa lämpötilassa taas grafiitin hapettumisreaktio on grafiitin pinnalla niin nopea, että kaikki happi reagoi ennen kuin diffuusiota grafiitin sisään tapahtuu. Tämä rajoittaa grafiitin reaktiivista pinta-alaa, ja hidastaa hapettumisreaktiota moninkertaisesti. Tällaista reaktiota sanotaan diffusiorajoitetuksi. Kaiken lisäksi grafiitti on erittäin hyvä lämmönjohde, joten hapetusreaktiossa vapautunut energia johtuu nopeasti kiteen läpi. Tällöin kiteeseen ei synny korkeampilämpötilaisia pisteitä. Kaikki nämä syyt johtavat siihen, ettei itseään ylläpitävä hapettumisreaktio käynnisty.

### Väärinkäsitykset grafiitin palamisesta ovat yleisiä

Vaikka pitkään on tiedetty, ettei grafiitilla ole suotuisia ominaisuuksia itseään ylläpitävään palamisreaktioon, usein puhutaan ydinenergian historiassa tapahtuneen useitakin grafiittipaloja. Grafiitin sanotaan syttyneen tuleen milloin Windscalessa, milloin Tšernobylässä. Lienemme tottuneet siihen, että julkisuudessa toistetaan erilaisia ydinvoimaa koskevia väärinkäsityksiä. On kuitenkin yhteinen etumme, että olisimme toimittajia parempia välttämään väärinkäsitysten aktiivista levittämistä.

Windscalen onnettomuuden jälkeisiä grafiitin palamistutkimuksia tehnyt Schweizer [10] asetti viisi ehtoa grafiitin tuleen syttymiselle: 650 celsiusasteen minimilämpötila, tämän lämpötilan ylläpito, riittävä hapen saanti, riittävän pieni hapettimen virtausnopeus, jotta palamistuotteet poistuvat mutta grafiitti ei kylmene, sekä sopiva grafiitin ja hapettimen välinen geometria. Schweizer toteaa, että näiden ehtojen täyttäminen on todellisissa tilanteissa erittäin vaikeaa.

Jaakko Leppänen ja Ville Tulkki kirjoittivat äskettäin Fissioreaktori-blogissaan [8] ydinvoimaviestinnän vaikeudesta ja siitä, kuinka virheellisten tulkintojen uutisoiminen on omiaan ruokkimaan myyttejä ja syömään asiantuntijoiden uskottavuutta. Windscalean palon luonteesta on ollut selvyyttä jo kymmenen vuotta [2], kun reaktorin sisältä saatiin ensimmäisiä kuvia. Kuvista paljastui, että reaktorin grafiitti olikin lähes tallella. Tšernobylistä tapahtuneeseen grafiitin palamiseen liittyvistä epävarmuuksista on kirjoitettu jo parikymmentä vuotta, ja grafiittipaloteorian kriitikoihin ovat kuuluneet niin grafiittitutkijat [3], EPRI-instituutti [4] kuin IAEA [9]. Silti grafiittipaloteoriaan tukeutuvia tulkintoja näiden onnettomuuksien kulusta kerrotaan edelleen.

### Onnettomuuksissa metallit syttyvät tuleen

Windscalean onnettomuudessa tapahtuneessa tulipalossa kyseessä oli uraanipalo. Windscalean plutoniumtuotantoon rakennettu reaktori oli suuri ilmajäähdytteinen grafiittikuutio, jonka läpi työnnettiin vaakatasoisten polttoainekanavien läpi alumiinipäällysteisiä uraanimetallisuojakuoria. Reaktori toimi melko matalassa lämpötilassa, jolloin grafiittiin varastoitui niin sanottua Wigner-energiaa neutronisäteilytyksessä syntyneiden hilavirheiden muodossa. Reaktorin lämpötilaa jouduttiin ajoittain nostamaan Wigner-energian hallittua vapauttamista varten, mutta tuona aikaisena lokakuun aamuna vuonna 1957 energiaa vapautui äkillisesti suunniteltua enemmän. Reaktorin lämpötila nousi suunniteltua korkeammaksi, ja joistakin polttoainesauvoista puhkesi alumiininen suojakuori. Uraanimetalli syttyi ilmassa spontaanisti tuleen jo lähellä huoneenlämpöä, joten uraanimetalli syttyi ilmajäähdytteisessä reaktorissa nopeasti tuleen. Grafiitti ei Windscalean paloon liittynyt kuin sivullisena, sillä ulkoisen lämmönlähteen – uraanipalon – ansiosta osa grafiitista hapettui ja höyrystyi hiilen oksideina.

Vuoden 1986 Tšernobylin onnettomuudesta tiedämme, että RBMK-reaktorin reaktorifysikaaliset ominaisuudet ja turvallisuuskulttuurin puute johtivat reaktorin tehon karkaamiseen ja sitä seuranneisiin höyry- sekä vetyräjähdysiin. Jälkimmäinen näistä räjähdyksistä hajotti reaktorisydämen, josta kuuma polttoaine, kuuma grafiitti ja kattomateriaalit levisivät ympäristöön. Tšernobylin onnettomuus poikkeaa Windscalean onnettomuudesta grafiitin osalta siinä, että onnettomuuden aikana reaktorin lämpötilat olivat huomattavasti korkeampia. Grafiitin hapettumisreaktio korkeassa lämpötilassa on kuitenkin vahvasti diffuusiorajoitettu [1].

Kuuma polttoaine ja punahehkuinen grafiitti sytyttivät useita tulipaloja ympäristössä tullessaan kosketuksiin palavien materiaalien kanssa, mutta mitä todennäköisimmin grafiitti ei itse syttynyt tuleen.

Nelosreaktorissa jäljellä olevan grafiitin määrää ei tarkalleen tiedetä [9], mutta erään arvion mukaan siitä olisi hapettunut ja höyrystynyt vain 10 % [5]. Reaktorin ulkopuolella palavia materiaaleja olivat esimerkiksi katon bitumi, rakennusmateriaalit ja reaktoria ympäröivä kasvillisuus. Reaktorin sisältä löytyy myös palavia materiaaleja, kuten yli sata tonnia zirkoniummetallia polttoainesauvojen suojakuoren ja polttoainekanavien muodossa. Osa tästä metallista oli hyvin läheisessä kosketuksessa sydänsulaan, jonka lämpötila riittää enemmän kuin hyvin metallin tuleen sytyttämiseen.

### Grafiitti ei kalpene zirkoniumille

Jos vertaamme grafiitin hapettumisominaisuuksia itseään ylläpitävän hapettumisreaktion osalta zirkoniumseoksiin, eivät zirkoniumseokset pärjää vertailussa kovin hyvin. Kevytvesireaktorin jäähdytteenmenetys-onnettomuudessa on nimittäin tärkeää, ettei polttoaineen zirkoniumsuojakuori pääse lämpenemään yli tuhannen celsiusasteen lämpötilaan. Tätä korkeammassa lämpötilassa zirkoniumsuojakuori voi nimenomaisesti syttyä tuleen jopa höyryssä, eli itseään ylläpitävä hapettumisreaktio voi käynnistyä. Hapettimena voi tällöin toimia höyry tai veden hajoamisessa syntynyt happi. Polttoainealtaan jäähdytteenmenetys-onnettomuutta jäljittelevissä kokeissa on saatu PWR-polttainenippu syttymään tuleen ilmassa jopa alle 900 celsiusasteen lämpötiloissa [6]. Onkin todennäköistä, että Tšernobylistä paloi grafiitin sijaan niin polttoainesauvojen ja -kanavien zirkonium kuin grafiitin hapettumisessa vapautunut hiilimonoksidi ja veden hajoamisessa syntynyt vety.

Vaikka RBMK-tyyppin reaktoreita on yhä maailmalla käytössä lukuisia, on keskustelu grafiitin palamisesta ajankohtaista muistakin syistä. Grafiitti on nimittäin hyvien ominaisuuksiensa vuoksi valittu polttoainematriisiksi ja neutronihidasteeksi kaasujäähdytteisessä kuulakekoreaktorikonseptissa. Kuulakekoreaktorin toimintalämpötila on sen verran korkea, ettei Wigner-energian varastoituminen muodostu ongelmaksi. Tämän HTR-PM -reaktorityypin 2x250 MWth demonstraatiolaitos saatetaan Kiinassa krittiseksi ja kiinni sähköverkkoon tämän vuoden puolella [7]. Siitä huolimatta, että grafiitti ei zirkoniumin tavoin itse ylläpidä palamisreaktiotaan, on edelleen pidettävä huolta, että polttoainekuulien grafiittipinnasta liian suuri osa ei höyrysty onnettomuustilanteessa. Mikäli primääripiirin tiiveys menetetään, voi reaktorisydämeen päästä ilmaa. Tällaisessa onnettomuustilanteessa grafiitin hapettumiseen tarvittavana lämmönlähteenä toimii reaktorin jälkilämpö, ja grafiitti voi hapettua ja höyrystyä. Grafiittia käyttäessämme voimme kuitenkin luottaa siihen, ettei se syty tuleen.

### Viitteet

- [1] Windes, W., Strydom, G., Smith, R., ja Kane, J. Role of Nuclear Grade Graphite in Controlling Oxidation in Modular HTGRs. Tekninen raportti INL/EXT-14-31720, Idaho National Laboratory, 2014. Idaho Falls, IA, USA.
- [2] Ervin, P. F. Characterization Progress at the Windscale Pile Reactors - Challenges and Results. WM2008 Conference, s. 1–14, 2008. Phoenix, AZ, USA.
- [3] Richards, M. B. Combustibility of high-purity, nuclear grade graphites. 22nd Biennial Conference on Carbon, 1995, s. 598–599. San Diego, CA, USA: American Carbon Society.
- [4] Bradbury, D. ja Wickham, A. Graphite decommissioning: Options for graphite treatment, recycling, or disposal, including a discussion of safety-related issues. Tekninen raportti 1013091, Electric Power Research Institute, 2006. Palo Alto, CA, USA.
- [5] Young, J. D. Chernobyl - the accident sequence. Chernobyl: A Technical Appraisal, 1987, s. 27–41. London, UK: British Nuclear Energy Society.



- [6] Durbin, S. G. ja Lindgren, E. R. Investigations of zirconium fires during spent fuel pool LOCAs. Sandia National Laboratories. <https://www.nrc.gov/docs/ML1203/ML120380359.pdf> [Haettu 19.2.2018.]
- [7] World Nuclear News website. First HTR-PM vessel head in place. <http://www.world-nuclear-news.org/NN-First-HTR-PM-vessel-head-in-place-0401185.html> [Haettu 19.2.2018.]
- [8] Leppänen, J. ja Tulkki, V. Fissioreaktori-blogi. <https://fissioreaktori.wordpress.com/> [Haettu 20.2.2018]
- [9] Burcl, R., González Gómez, J. L. ja Kelly, J. J. Characterization, Treatment and Conditioning of Radioactive Graphite from Decommissioning of Nuclear Reactors. IAEA-TECDOC-1521. Wien, Itävalta: IAEA. 2006.
- [10] Schweitzer, D. G., Experimental Results of Air Ingress in Heated Graphite Channels: A Summary of American Analyses of the Windscale and Chernobyl Accidents. IAEA-TECDOC-784, s. 50-54, 1995. Wien, Itävalta: IAEA.

### Kirjoittajat



**DI Henri Loukusa**  
Tutkija  
VTT Oy  
[henri.loukusa@vtt.fi](mailto:henri.loukusa@vtt.fi)



**DI Ville Sahlberg**  
Tutkija  
VTT Oy  
[ville.sahlberg@vtt.fi](mailto:ville.sahlberg@vtt.fi)

# Ydinvoima – uhka vai mahdollisuus

**L**OPPUUNKATSOTTU ja moneen kertaan kopioitu Uutisvuoto-sarja antoi aikanaan esimerkkejä otsikon sanaparin, uhka ja mahdollisuus, käytöstä kaikkien asioiden kahden puolen punnitsemiseen. Monen eurooppalaisen mielessä ydinvoima on uhka ja Fukushimaa valtavaa tsunamia seurannut ydinonnettomuus poltti ydinvoiman uhkaksi muun maailman lisäksi myös japanilaisiin mieliin, joista Hiroshiman ja Nagasakin muisotot alkoivat jo haalistua. Uhkilla pelottelu toimii kasvatuksessa ja politiikassa, mutta ei ole hauskaa, joten rajaan kirjoitukseni vain mahdollisuuksien punnitsemiseen.

Fukushiman jälkeen viranomaisen rooli kasvoimissa maissa ja laitosten sähköntuotannon keskeytys viranomaisen ja julkisuuden vaatimien selvityksiä varten on ollut arkipäivää.

Onnettomuus tai vain turvallisuuspuutteen epäily yhdessä laitoksessa näyttää nykyisin keskeyttävän tuotannon monilla reaktoreilla ja useissa maissa. Pahoja merkkejä organisaatioiden turvallisuuskulttuurin rapautumisesta ja toimittajien tuoteväärennyksistä on myös nähty useissa Euroopan ja Aasian maissa. Näiden taustalla on ollut usein vastuullisen johdon kyvyttömyys. Johtajat ja heidän kaverinsa eivät hallitse laitosturvallisuutta ja ydinvoiman laadunhallinnan erityisyydet ovat täysin tuntemattomia koko porukalle.

Johtaminen on muuttunut kustannusten minimoinniksi. Nopeat tuotot ja niihin sidottu johdon pikapalkkiot sekä tiukka johtajuus ilman ydinalan osaamista ovat vallalla. Ydinvoimahankkeissa tämä johtaa viime hetken supistuksiin laitoksen rakenteissa ja tiloissa ottamatta huomioon kaikkia laite- ja turvallisuussuunnittelun vaatimuksia. Vastaavasti käyvän laitoksen säästöt ja ikääntyvän laitok-

sen ylläpidon ajoitus tehdään osaamattomasti ja päädytään pitkiin tuotantokatkoksiin. Vanhojen laitosten yksi perusongelma on omistajan haluttomuus uusien vanhentunutta suunnitteluperustaa nykytiedon perusteella. Ongelma on sama kuin suomalaisessa terveydenhuollossa, jossa säästöjen aiheuttama leikkauksen siirto johtaa muutaman vuoden viiveellä potilaan työkyvyttömyyteen. Rahaa ei ole, kun päätökset vatuloidaan ja kokonaisuus on hukassa!

OECD:n mukaan Fukushimaa perusteella tehdyt muutokset tuovat 10–20 % hintalisan verrattuna kaikkiin toimiin, jotka ovat tarpeen toimivan ydinvoimalaitoksen käytön jatkamiseen 20 vuodelle. Käytön jatkajan vaatimien muutosten hinta on useimmiten alle neljäsosa uuden laitoksen hinnasta. Turvallisuusparannusten vaatimat muutamat kymmenet miljoonat ovat varsin pieni hinta verrattuna onnettomuuden uhreihin, koko ydinvoiman maineen lisätahraan tai onnettomuuden puhdistuksen aiheuttamaan laskuun. Nykyisten laitosten eläköitymisen siirtäminen vaikuttaa olevan ydinvoiman paras mahdollisuus Euroopassa.

Uusien ydinvoimahankkeiden mahdollisuudet Euroopassa ovat niukkoja rakennushinnan betonoituessa huiman korkealle tasolle. Kiinalaiselle ydinvoima on suuri mahdollisuus: mahdollisuus tuottaa energiaa, saada työpaikkoja ja päästä ulkomaille uusiin työtehtäviin! Eurooppalaiset viisastelevat Kiinan ohjelmien ja rakentamisen vauhdikkuuden johtuvan turvallisuuspuutteista ja puuttuvasta viranomaisvalvonnasta. Syvempi analyysi osoittaa Kiinan hankkeiden toimivuuden perustuvan hyvään projektijohtamiseen ja omistajan vahaan rooliin resurssien ja ratkaisujen hallinnassa. Kiinalaiset ovat myös toteuttaneet

*Oikeanmuotoinen samppanjalasi vaaleanpunaisella samppanjalla. Lasin muoto on saatu Ranskan kuningattarelta Marie Antoinetelta.*

tekniisiä, käyttöä ja turvallisuutta kohentavia, parannuksia tilaamiensa laitostyyppien rakennusprojekteissa. Suhteellisuusteorian isän Einsteinin hiukan rasistinen pelko siitä, että lukuisat kiinalaiset syrjäyttävät muut kansat, ei ole turha ydinvoimassakaan. Onneksi Kiinan keskiluokka oppii kovaa vauhtia nauttimaan muotivaatteista, loistoautoista, sikarinpoltosta, viinanjuonnista ja muista länsimaisen sivistyksen tuntomerkeistä. Toisaalta ”kulttuurivallankumouksen” aikana lähes tuhoama klassinen musiikki ja taide on noussut Kiinassa uuteen suosioon. Maailman parhaat pianistit ja viulistit ovat usein kiinalaisia.

Viranomaisen ohjeisiinsa kirjaama tekniikan ja varmennusten minimivaatimustaso on joissain maissa ja tekniikan alueilla noussut kuin tsunami-aalto ja mennyt jo yli koetellun, käytössä olevan tekniikan rajojen. Vaatimusten nousu lisää uusien hankkeiden taloudellisia riskejä ja tekee ydinvoiman turvallisuusvaatimusten ja normien yhdenmukaistamisen houkuttelevaksi. Harmonisointi ja mahdollisuus suunnitella laitos kerralla useaan maahan on suosittu aihe kansainvälisten ydinvoimakokousten puheissa. Aihe on korkealla myös ydinvoiman ostajien ja myyjien toivelistoilla. Harmonisoinnin kapellimestarin puikko ei vain ole kenenkään hallinnassa! Ja keskenään kilpailevilla ydinvoimasuunnittelijoilla on asiaan vain rajallinen into.



Lentokoneteollisuudessa vaateet on yhtenäistetty, mutta lentokonetoimittajia on vain muutama, luvat uusille malleille saadaan nopeasti ja pitkät tuotantosarjat kattavat suunnittelun kulut. Ydinvoiman alueella suunnittelun ja paperityön osuus on jo puolet voimalaitoksen lopullisesta kustannuksesta. Järjestelmiin ja laitteisiin jätetään turvallisuusvaraa suunnittelun joka vaiheessa. Lähes kaikkeen mahdolliseen varaudutaan ja niinpä ydinvoimalaitos on lentokonetta paljon monimutkaisempi. Onko harmonisointi edes hyödyllistä valtioiden ja viranomaislaumojen ohjaamassa ydinvoimassa?

Suomalaisten ja omistajien riemuksi Olkiluoto 3 käynnistyy ensi vuonna! Moni ydinalan kaveri on tehnyt kohta pari vuosikymmentä tuon rakentamishankkeen hommissa. Onnittelut heille kaikille hankkeen saattamisesta maalisuoralle, vaikka homma varmasti on ajoittain tuntunut usean vesihaudan estejuoksulusta, jossa kierrosmäärää lisätään juoksun kuluessa. Projekti on ollut pitkä, mutta lopullinen hinta omistajille jää viivästyksineenkin miljardikaupalla alle listahinnan. Kiinan projektien tapaan Olkiluodon projektin alussa suomalainen omistaja vei tarvittavia muutoksia suunnitelmiin, mutta sopimusmalli jätti toteutuksen toimittajalle. Ikävä kyllä, ylimielinen toimittaja ei ymmärtänyt tai halunnut ymmärtää kaikkia muutoksia. Niinpä osia laitoksesta suunniteltiin useaan kertaan ja pitkällä viiveellä. Leikillisesti sanoen ranskalainen suunnitteluinsinööri on koulutettu keksimään mahdollisimman monimutkaisia ratkaisuja, joiden tarkoitus on tehdä tuotanto mahdollisimman vaikeaksi valmistajalle ja mahdottomaksi kunnosapidolle. Suomalaiselta insinööriltä taas

puuttuu kyky markkinoida työtään ja itseään. Suomalainen suunnitteluinsinööri katsoo keskustellessa omia kenkiään, mutta markkinointiin perehtynyt suomalainen insinööri katsoo rohkeasti vastapuolen kenkiä.

Ranskalainen toimintatapa, jossa toimittajan edustajat tekevät lyhyitä parin kolmen vuoden työkeikkoja voimalaitosprojektiin, voi heikentää heidän haluaan ymmärtää eroja eri kulttuurien ja toimintamallien välillä. Suomen kielessä on ranskalaisia lainasanoja teatterin, muodin, ruoanlaiton ja politiikan alueelta, mutta ei insinööritieteiden ja tekniikan alueelta – sille on varmaan syynsä. Varsinkin kesällä moni kiittää ranskalaisuutta samppanjasta ja terassista. Ranskalaisen kulttuurin monimutkaisuus ja lukuisat perustelemattomat mielipiteet sopivat maustamaan ruokaa, mutta eivät kaikkeen muuhun. Ranskalaiseen ruokaan ja juomaan antaa vivahteita sekin, että ulkomaa-alaisten mielipiteillä on aina alempi arvo verrattuna ranskalaisiin.

Lopuksi tarina ydinvoimaprojektista, jossa suomalainen antoi ranskalaiselle joululahjaksi palapelin, jotta tällä olisi jotain tekemistä illalla laitoksen testien suunnittelun välissä. Ranskalainen ilahtui lahjasta ja sanoi aloittavansa heti kokoamisen kotona Pariisissa. Maaliskuussa laitostestien edetessä ranskalainen saapui Suomeen ja mainitsi heti saaneensa palapelin valmiiksi. Suomalainen mietti mielessään, että hyvä kun jotain valmistuu. Hän kuitenkin hämmäntyi, kun ranskalainen jatkoi itsevarmaan ja ylpeään tyyliinsä: "Kuten huomaat palapeli valmistui nopeasti! Minulla meni vain kolme kuukautta, vaikka laatikon kannessa lukee 4–6 vuotta!"

#### **Ydininsinööri**

**Palautusosoite:**

Suomen Atomiteknillinen Seura  
PL 78  
02151 ESPOO



---

KANNATUSJÄSENET

---

**Fennovoima Oy**

**Pohjolan Voima Oyj**

**Teollisuuden Voima Oyj**

**FinNuclear ry**

**Posiva Oy**

**TVO Nuclear Services Oy**

**Fortum Power  
and Heat Oy**

**Saanio & Riekkola Oy**

**Voimaosakeyhtiö SF Oy**

**Platom Oy**

**Siemens Osakeyhtiö**

**Wärtsilä Projects Oy**

**Pohjoismainen  
Ydinvakuutuspooli**

**Teknologian  
tutkimuskeskus VTT Oy**