

ATTS

YDINTEKNIikka

4|2021

Vol. 50

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

Ydinenergiaa kaukolämmön tuotantoon

Tässä lehdessä esitellään suomalainen ja venäläinen kaukolämpöreaktori ja pohditaan edellytyksiä SMR-suunnitelmien toteutumiseen käytännössä.

Inhimilliset tekijät osana ydinturvallisuutta

Turvallisuuskriittisellä alalla on syytä ymmärtää ihmisten ja organisaation toimintaa sekä näiden voimavaroja teknisten järjestelmien puristuksessa.

Ruotsissa puretaan ydinreaktoreita

Fortum ja Uniper ovat yhdistäneet voimansa Ruotsin ydinreaktoreiden käytöstäpoisto- ja purkuprojekteissa.



Julkaisija / Publisher

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

Johtokunta / Board

Puheenjohtaja / President

TkT Markus Airila
puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja / Vice President

DI Lauri Rintala
lauri.rintala@tvo.fi

Sihteeri / Secretary General

FM Jussi Peltonen
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

FM Maria Lindholm
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

Jäsenet / Board Members

SK Tuomo Huttunen
tuomo.huttunen@fennovoima.fi

MSc Ana Jambrina
ana.jambrina@vtt.fi

DI Olli Nevander
olli.nevander@rosatom.fi

DI Simo Saarinen
simo.saarinen@iki.fi

Toimihenkilöt / Functionaries

ATS Young Generation

DI Pekka Pihlanko
pekka.pihlanko@platom.fi

Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

DI Henri Ormus
henri.ormus@fennovoima.fi

Women in Nuclear Finland

FT Eveliina Muuri
eveliina.muuri@gmail.com

www.vastaava / Webmaster

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

ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkL Eero Patrakka
eero.patrakka@kolumbus.fi

Toimitus / Editors

Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

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

Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

FT Antti Rätty
antti.ratty@vtt.fi

Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

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

Ulkoasu ja taitto / Layout

Katariina Korhonen
Creatus
katariina@creatus.fi

Toimitus / Editorial Staff

FM Sophie Haapalehto
sophie.haapalehto@posiva.fi

DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@gmail.com

TkT Henri Loukusa
henri.loukusa@gmail.com

DI Alekski Savolainen
aleksi.savolainen@tvo.fi

FT Mervi Söderlund
mervi.soderlund@fennovoima.fi

Toimituksen yhteystiedot

ATS Ydintekniikka

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

Painopaikka

Hämeen Kirjapaino Oy, Espoo

ISSN-0356-0473

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

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

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

Ytimien lämpöä syksyn synkkyyteen



SYKSYN SUURI TAPAHTUMA oli COP26 eli sopimusosapuolten kahdeskymmeneskuudes kokoukseen, joka järjestettiin Glasgow'ssa. Viisi kokousta aikaisemmin Pariisissa oli saavutettu sopimus, jonka mukaan maapallon lämpeneminen pyritään rajoittamaan kahteen asteeseen tai jopa puoleentoista. Tässä kokouksessa osapuolet kokosivat reittikarttaa kohti tavoitetta.

Sopimusosapuolilla muuten viitataan Yhdistyneiden kansakuntien puitesopimukseen ilmastonmuutoksesta (UNFCCC), joka neuvoteltiin vuonna 1992. Sen Pariisia aiempi laajennus oli Kioton sopimus vuodelta 1997. Tämä selittää miten tässä vaiheessa ehdittiin jo 26. kokoukseen, vaikka niiden väli on sentään ollut vuosi-pari.

Aikaisempiin 25 kokoukseen verrattuna COP26:ssa oli merkittävää, että ydinvoimaa edustavat organisaatiot kuten IAEA, OECD/NEA

ja WNA pääsivät kuultaviksi ihan konferenssin virallisilla lavoilla. Tässä oli varmasti ansionsa isäntämaa Isolla-Britannialla, jonka päästöjen rajoittaminen perustuu vahvasti ydinvoiman lisärakentamiseen. Myös monet muut – sekä perinteiset ydinvoimamaat että ydinvoimattomat maat – ovat kääntäneet katsetta tämän vähäpäästöisen energiamuodon suuntaan.

Osansa orastavasta kiinnostuksesta selittää Euroopassa syksyllä nähty sähkön hintanousu. Kun Euroopan sähköverkot alkavat kytkeytyä toisiinsa, niin hintaheilahtelut tuntuvat entistä laajemmalla alueella, jopa täällä Pohjolan perukoilla. Havaitulle hintanousulle oli useita selityksiä: talouksien elpyminen pandemian jälkeen, kaasuvarastojen niukkuus edellistalven jäljiltä, vesivarantojen niukkuus Norjassa ja Ruotsissa sekä tuuli- ja aurinkovoiman tuotantovaihtelut.

Kysymys kuuluu: pystymmekö vastaamaan huutoon? Suomessa on panostettu ydinvoimaa

maan ja molemmat rakennusprojektit etenevät lupaavasti, mutta ydinvoimateollisuus on globaalia ja sitä on vaikea polkaista hetkessä täydelle teholle pitkän hiljaisen kauden jälkeen. Valonpilkahduksia näkyy eri puolilla maailmaa, mutta ilmastonmuutoksen vakavat seuraamuksetkin jo pilkahtelevat, joten hoppu uhkaa tulla.

Ydinenergialla on perinteisesti tuotettu lamppuun valkeaa, mutta ihmiskunta tarvitsee energiaa myös lämmön muodossa. Ydinenergia soveltuu myös lämmön lähteeksi. Yhteistuotantolaitoksia pyörii maailmalla tälläkin hetkellä – tuorein avattiin Kiinan Haiyangissa tänä syksynä – mutta puhtaita lämmöntuotantoreaktoreita ei taida olla toiminnassa. Tässä lehdessä valotetaan lämpöreaktoreiden tekniikkaa ja taloutta peräti kolmen jutun voimin.

Jarmo Ala-Heikkilä

Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

Vakiopalstat

Päätoimittajalta:

Ytimien lämpöä syksyn synkkyyteen 3

Pääkirjoitus: Hanhikivi 1:n turvallisuusarviointi ja luvitus etenevät 4

Editorial: Hanhikivi 1 safety assessment and licensing proceeding 5

Pakina: Kapinaan kansalaiset 42

Arkiston helmi

Suomen ydinenergiainsäädäntö täyttää 50 vuotta ja voi hyvin 15

Tapahtumat

Tutkimusreaktorikonferenssi RRFM järjestettiin Helsingissä 7

European Nuclear Young Generation Forum 2021 6

Ajankohtaista

Vihreiden ydinvoimakanta – neljän vuoden muutosprosessi 9

Fortum and Uniper joined forces in nuclear decommissioning and dismantling – joined execution of four-unit decommissioning program in Sweden 11

Tiede ja tekniikka

Ihmisten toiminnan huomioonottaminen ydinvoimalaitoksilla 19
Anna-Maria Teperi, Antti Piirto, Björn Wahlström

VTT:n kaukolämpöreaktori LDR-50 24
Jaakko Leppänen

Lämpöreaktori korvaamaan kaukolämmön fossiiliset polttoaineet? 28
Tomi J. Lindroos

Prospects for using low-capacity nuclear heat plants in Finland 32
Roman Polin, Aleksander Glebov, Juri Baranaev, Irina Moskovchenko

Kuinka muistaa loppusijoituslaitos 2200-luvulla? Kansainvälistä tutkimusta tiedon säilyttämisestä 37
Petri Paju

Hanhikivi 1:n turvallisuusarviointi ja luvitus etenevät

FENNOVOIMAN HANHIKIVI-1 -laitoksen luvitus on edennyt näkyvästi vuosina 2020-2021, jolloin valtaosa alustavasta turvallisuusselosteesta on toimitettu STUKiin hyväksyttäväksi. Vuoden 2022 aikana aineistoja päivitetään tarpeellisin osin, jotta saavutetaan edellytykset rakentamisluvan myöntämistä varten. Laitoksen suunnittelua on kehitetty yhdessä laitostoi-
mittajan eli venäläisen Rosatom-konsernin kanssa vuodesta 2013 lähtien.

Olemme Fennovoimalla käyttäneet paljon aikaa sen varmistamiseen, että turvallisuusarviointi ja laitossuunnittelun tarkastus keskittyvät oikeisiin ydinturvallisuuden kannalta tärkeisiin asioihin. Olemme arvioineet kaikki laitoksen turvallisuuden kannalta tärkeät järjestelmät ja rakennukset käyttäen ennalta määritettyjä arviointikriteerejä, jotka kattavat muun muassa turvallisuustoimintojen läpikäynnin, turvallisuus- ja maanjäristysluokituksen, fyysisen ja toiminnallisen erottelun sekä säteilyturvallisuuden.

Lisäksi olemme laatineet kattavat laitostason turvallisuusarviot eri aihealueista, kuten reaktori- ja primääripiiri, syvyysuuntainen puolustus ja diversiteettiratkaisut, suojarakennus, hazardit, säteilyturvallisuus ja laitosautomaatio. Laitostason arviot ovat osoittautuneet erittäin hyödyllisiksi: kyseinen aihealue ja siihen liittyvät avoimet asiat arvioidaan ja raportoidaan kattavasti, ja lisäksi arviointiin osallistuvat henkilöt parantavat aihealueen tietämystään ja laitostuntemustaan. Laitostuntemuksen vahvistamisen koemmekin äärimmäisen tärkeäksi, ja siihen on panostettu myös sisäisillä turvallisuuskoulutuksilla ja teettämällä opinnäytetöitä.

Turvallisuusarvioinneista nousseet avoimet asiat on valtaosin ratkaistu yhdessä laitostoi-
mittajan kanssa, joitain avoimia asioita toki vielä löytyy. Isossa kuvassa voidaan perustellusti vahvistaa, että laitoksesta tulee turvallinen. Kolmannen sukupolven painevesilaitos VVER-1200 (AES-2006) on hyvä laitokskonsepti, jonka huomionarvoinen turvallisuuspiirre ovat ilman

ulkoista käyttövoimaa luonnonkierrolla ja painovoimalla toimivat passiiviset jälkilämmönpoistojärjestelmät, joiden avulla jälkilämpöä voidaan poistaa höyrystymien sekundääripuolelta sekä suojarakennuksesta suojarakennuksen yläosassa sijaitseviin vesialtaisiin.

Hanhikivi 1 -laitosyksikköön on tehty useita turvallisuutta parantavia muutoksia, jotka vastaavat myös STUKin periaatepäätösvaiheen alustavan turvallisuusarvion päähavaintoihin. Laitoksen suojaaminen lentokonetörmäystä vastaan on varmistettu suojaamalla kriittisimmät rakennukset suoraa törmäystä vastaan ja erottamalla toisiaan varmentavat tärkeät järjestelmät riittävällä etäisyydellä. On myös lisätty erilaisuuteen perustuva jälkilämmönpoisto-



ketju, jonka lämpönieluna toimii ilmakehä ja joka on vaihtoehtoinen tapa laitoksen ajamiseksi turvalliseen tilaan (reaktori paineeton).

Vakavien reaktorionnettomuuksien hallintakonseptia on kehitetty muun muassa parantamalla näihin liittyvien järjestelmien riippumattomuutta ja lisäämällä erillinen paineistimeen yhdistetty paineenalennuslinja estämään reaktoripaineastian murtuminen korkeassa paineessa vakavan onnettomuuden yhteydessä. Rakennusten sijoitussuunnittelua on kehitetty ja optimoitu muun muassa fyysisen erottelun ja hasardisuojausten sekä säteilyturvallisuuden näkökulmista.

Valvomorakennuksen layout on suunniteltu alusta alkaen uusiksi käyttäen johtavana periaatteena turvallisuuslohkojen selkeää erotelua. Muita turvallisuusparannuksia ovat esimerkiksi hätäjäähdetyksakulinjojen optimointi, erillinen ja erilainen hätäjäähdetyksjärjestelmä ja passiivisten järjestelmien vesivarantojen lisääminen. Laitos kestää myös esimerkiksi F5-luokan tornadon ja magnitudin 7 maanjäristyksen laitoksen välittömässä läheisyydessä.

Hanhikivi 1 -laitos ja ydinvoima yleisemmin ovat tärkeä osa Suomen hiilineutraalia energia- ja ilmastostrategiaa, ja ydinvoimaan suhtautuminen tuntuu olevan aiempaa positiivisempaa. Hankkeemme paikallinen kannatus Pyhäjoella on pysytellyt erinomaisella yli 70 % tasolla.

Positiivisia viime aikojen uutisia ovat myös Olkiluoto 3 -yksikön siirtyminen käyttövaiheeseen vuonna 2022, Espoon kaupunkistrategian sekä Helsingin energiayhtiön Helenin myönteiset kannanotot pienydinvoimaloita kohtaan ja jopa Vihreiden neutraalimpi suhtautuminen ydinvoimaa kohtaan varapuheenjohtajavalintansa myötä. Tältä pohjalta rohkenen ennustaa ydinvoimalle valoisaa vuosisataa.

Käynnissä olevat neljä yksikköä palvelevat vielä luotettavasti parin vuosikymmenen ajan, ja Olkiluoto-3 ja Hanhikivi-1 tuottavat sähköä aina vuosisadan viimeisille vuosikymmenille asti. Kukaties Loviisaan nousee vielä VVER-1200-yksikkö, ja sen jälkeen toivomme, että aika, lainsäädäntö ja luvitusprosessit olisivat kypsiä pienydinvoimaloille. Tekemistä riittää myös loppusijoituksessa, miksei myös fuusion parissa, ja mahdollisuuksia voi ajeta myös ydinvoimayhteistyössä Viron kanssa. Alalla riittää varmasti mielenkiintoisia ja haasteellisia tehtäviä koko työuran ajaksi myös vasta valmistuneille asiantuntijoille.

Juho Helander

DI

Ydinturvallisuusjohtaja

Fennovoima Oy

Hanhikivi 1 safety assessment and licensing proceeding

THE LICENSING OF FENNOVOIMA'S Hanhikivi 1 plant has been progressing visibly in 2020-2021 when majority of the preliminary safety assessment report has been submitted to STUK for approval. In 2022, the materials will be updated as necessary to enable granting of the construction license. Fennovoima has developed the design of the plant together with the plant supplier Russian Rosatom consortium since 2013.

At Fennovoima we have put significant effort in assuring that our safety assessment and design review focus on the correct aspects relevant for nuclear safety. We have evaluated all the systems and buildings of the plant important to safety by using predefined evaluation criteria covering for example the related safety functions, safety and seismic classification, physical and functional separation and radiation safety aspects.

In addition, we have compiled extensive plant level safety evaluations for different topics such as reactor and primary circuit, plant defence-in-depth and diversity concept, containment, hazards, radiation safety and plant automation. Plant level evaluations have proven highly beneficial: the topic in question and the related open items are extensively evaluated and documented, and furthermore the participating experts improve their understanding of the topic and plant in general. The plant knowledge is something that we regard as extremely important, and we have striven for improving it also by means of internal safety trainings and by conducting theses.

The open items emerged from the safety evaluations have been mainly solved together with the plant supplier, although some open items still remain. In general, it is justifiable to confirm that the plant will be safe. The third-generation pressurized water reactor VVER-1200 (AES-2006) is a good plant concept. Its remarkable safety features are the passive decay heat removal systems working without external power by utilizing natural circulation and gravity. The systems allow removal

of decay heat from the secondary side of the steam generators and from the containment to the water tanks located in the upper part of the reactor building.

Several design changes improving safety have been implemented in the Hanhikivi 1 unit. These changes resolve also the main findings presented by STUK in the preliminary safety assessment in the decision-in-principle phase. Plant protection against airplane crash has been ensured by protecting the most critical buildings against a direct crash and by using adequate distance separation for the redundant systems. Also, a diverse heat transfer chain utilizing the atmosphere as the heat sink has been added to provide an alternative means to bring the plant to safe state (reactor unpressurized).

The severe accident management concept has been developed for example by improving the independency of the severe accident management systems and by adding a separate emergency depressurization line connected to the pressurizer to prevent reactor pressure vessel failure in a high pressure in connection of a severe accident. The layout design of the buildings has been enhanced and optimized from the point of view of physical separation, hazard protection and radiation safety, among others.

The control building layout has been completely redesigned by using clear separation of the safety divisions as the guiding principle. Other safety improvements include for example optimization of the hydroaccumulator lines, separate diverse core cooling system and additional water reserves of the passive systems. The plant can withstand also for example an F5 class tornado or a magnitude 7 earthquake in the immediate vicinity of the plant.

The Hanhikivi 1 plant and nuclear power in general have an important role in Finland's carbon neutral energy and climate strategy, and it appears that the general attitude towards nuclear power has improved. The local

support to our project has remained on an excellent – above 70% – level.

The recent positive news include also transfer of Olkiluoto 3 unit to the operational phase in 2022, positive statements towards small modular reactors from the Espoo city strategy and Helsinki city energy company Helen and even the more neutral attitude of the Green party towards nuclear energy implied by the recent vice-chair selection. Based on this, I venture to predict a bright century for the nuclear industry.

The operating four units will continue reliable operation for a decade or two and Olkiluoto-3 and Hanhikivi-1 will produce electricity until the last decades of the century. Perhaps we may see a VVER-1200 unit erected in Loviisa, and after that we hope that the time, legislation and licensing processes will be mature enough for the small reactors. There is plenty of work also in the final disposal, why not also among the fusion and there may be opportunities also in the nuclear cooperation with Estonia. Without doubt, the nuclear industry will offer interesting and challenging tasks for the whole career also for the recently graduated experts.

Juho Helander
M.Sc. (Tech.)
Nuclear Safety Director
Fennovoima Oy

Tutkimusreaktori-konferenssi RRFM järjestettiin Helsingissä

ENS:n tutkimusreaktorikonferenssi RRFM järjestettiin syyskuussa Helsingissä hybridimuotoisena. Jälleennäkemistä koronatauon jälkeen oli odotettu pitkään.

Teksti: Markus Airila, VTT **Kuva:** Mattia Baldoni, ENS

HELSINGISSÄ 24.–29.9.2021 järjestetty RRFM-konferenssi tarjosi tutkimusreaktoriyhteisölle sen lämpimän jälleennäkemisen hetken, joista kansainvälisesti on viime aikoina saatu iloa.

Konferenssia vuosittain järjestävä ATS:n emoseura European Nuclear Society (ENS) toi tapahtuman Helsinkiin, missä se oli tarkoitus järjestää jo maaliskuussa 2020. Viimevuotinen konferenssi kuitenkin siirrettiin ja muutettiin onnistuneeksi syksyiseksi virtuaalitapahtumaksi.

Tänä vuonnakin paikalla Jätkäsaaren Clarion-hotelliin saapuneiden noin 60 osallistujan lisäksi mukana oli noin kaksinkertainen määrä osallistujia verkon kautta, osa heistä myös esiintyjä. Sikäli konferenssi oli totuttua eurooppalaisempi, että Yhdysvalloista ja

Aasiasta ei vielä juuri päästy paikan päälle osallistumaan.

Virtuaalimallista hybridiin

RRFM on alun perin keskittynyt tutkimusreaktorien polttoaineasioihin, mutta se on laajan suosionsa ansiosta noussut maailmanlaajuisesti yhdeksi tärkeimmistä vuotuisista tapahtumista tutkimusreaktoreiden ympärillä. Tämänvuotisessa ohjelmassa oli ilahduttavan runsaasti pitkälle tulevaisuuteen kurkottavia reaktorien käytön ja uusien tutkimuslaitteinvestointien suunnitelmia. Ohjelma olikin hyvin kattava ja tasapainoinen siitä huolimatta, että yleensä polttoainehuollon projekteja ja tilannetta laajasti esitelleet yhdysvaltalaiset olivat poissa.

Suomalaisia osallistujia oli vajaa 10, joista suurin osa oli FIR 1:n käytöstäpoiston parissa työskentelevää VTT:n ja Fortumin projektihenkilöstöä. Esityksissämme kerroimme hyvänä kotimaisena yhteistyönä etenevän projektimme tilanteesta, vuosi sitten toteutetusta polttoainekuljetuksesta ja Suomen osallistumisesta Jules Horowitz Reactor -projektiin.

ENS:n varapuheenjohtaja ja ATS:n kansainvälisten asioiden sihteeri Henri Ormus Fennovoimasta tervehti osallistujia avajaispuheenvuorossaan. Myös VTT:n Tommi Nyman oli kutsuttu toivottamaan konferenssiväki tervetulleeksi Helsinkiin. Nyman kertoi muun muassa suomalaisen kaukolämpöreaktorin suunnitelmista, mikä herätti ymmärrettävästi suurta mielenkiintoa.

Jälleennäkemisen riemua

Sosiaalinen ohjelma oli luonnollisesti korostuneen tärkeässä roolissa, ja ENS oli järjestänyt sen kiitettävällä tavalla. Konferenssi avattiin virtuaalilla perjantai-illan tapahtumalla, sunnuntai-iltana oli vuorossa cocktailtilaisuus ja tiistai-iltana hieno illallinen ravintola Sipulissa. Myös Helsingin kaupunki osallistui isännöintiin kutsumalla osallistujat vielä omalle vastaanotolle viimeisen päivän ohjelman päätteeksi.

Monien kasvoilta saattoi huomata, että kauan odotetut kohtaamiset eivät olleet viileän ammatillisia, vaan pitkä yhteistyö on luonut myös ystävyyssuhteita, joiden päälle puolestaan rakentuu kaikkein hedelmällisin, luottamukseen perustuva yhteistyö. Näiden suhteiden ylläpitoon ja lujittamiseen ei ole olemassa teknologiaa, joka korvaisi kasvotusten tapahtuvat kohtaamiset.

Vuonna 2022 RRFM palaa kohti perinteistä rytmiään, eli konferenssi tullaan järjestämään jo kevätkuolella, paikkana Budapest. 🌐



Tkt Markus Airila

Erikoistutkija

Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy
markus.airila@vtt.fi



Matti Paljakka (VTT) esitelmöimässä konferenssin ensimmäisenä päivänä.

European Nuclear Young Generation Forum 2021

The European Nuclear Young Generation Forum (ENYGF) 2021 was held on September 27–30 in Tarragona, Spain, by the Spanish Young Generation Network in cooperation with the IAEA. ENYGF is a biannual conference organized by European Nuclear Society Young Generation Network (ENS YGN) in its member countries. Its aim is to provide an international platform for knowledge transfer, discussion and sharing best practices among young professionals and students.

Text: Jenna Järvenpää and Sarah Don **Photos:** ENYGF official records

THE THEME OF THE ENYGF2021 “Look ahead” directed more than 150 participants in person and 100 participants online from 24 countries and from over 75 companies for four days in the beautiful, UNESCO recognized city of Tarragona in Spain. For many non-Spanish delegates, this oldest Roman settlement on the Iberian

Peninsula was rather unknown. Yet after the forum, we not only knew more about Small Modular Reactors (SMRs), innovations in the nuclear sector and radioactive waste management, but also about the Roman Empire, the siege of Tarragona by emperor Napoleon and the grandiose mission of Romans to build everything to last forever.



M.Sc. (Radiochemistry) Jenna Järvenpää
Project Intern
Fennovoima Oy
jenna.jarvenpaa@fennovoima.fi



**M.Sc. (Nuclear Science),
M.Sc. (Nuclear Physics) Sarah Don**
Operation Planning Engineer
Fennovoima Oy
sarah.don@fennovoima.fi

The Finnish Nuclear Society Young Generation was represented by Jenna Järvenpää, Project Intern, and Sarah Don, Operation Planning Engineer, from Fennovoima. In addition, there were two other participants from Finland, Dmitrii Dzhabarov from RAOS Project Oy and Vesa Jalonen, chairman of the Eurajoki municipality board.

The technical tour and forum

The ENYGF 2021 was organized in the Tarraconensian Centre, El Seminari, where some of the conference rooms had genuine roman walls visible among the more modern construction. The venue had also a monumental neogothic area around the 13th century old Chapel of St. Paul. This area was used for poster sessions, group photos and other gatherings during the forum, yet there was also an open area for coffee breaks and lunches. The forum consisted of multiple parallel presentations, posters, hot topic panels and workshops, all of which were more or less achievable for both online and onsite.

The forum had also organized event programs, such as visits to Tecnatom’s control room simulators for the Ascó and Vandellós nuclear power plants, a gala dinner, cultural tours to Medieval and Imperial Tarragona and a talk about the NPP dismantling process in Spain. Spain has decided to phase-out nuclear power production starting in 2027, and all 7 of the currently operating nuclear power plants in the country will end production by 2035.

The workshops

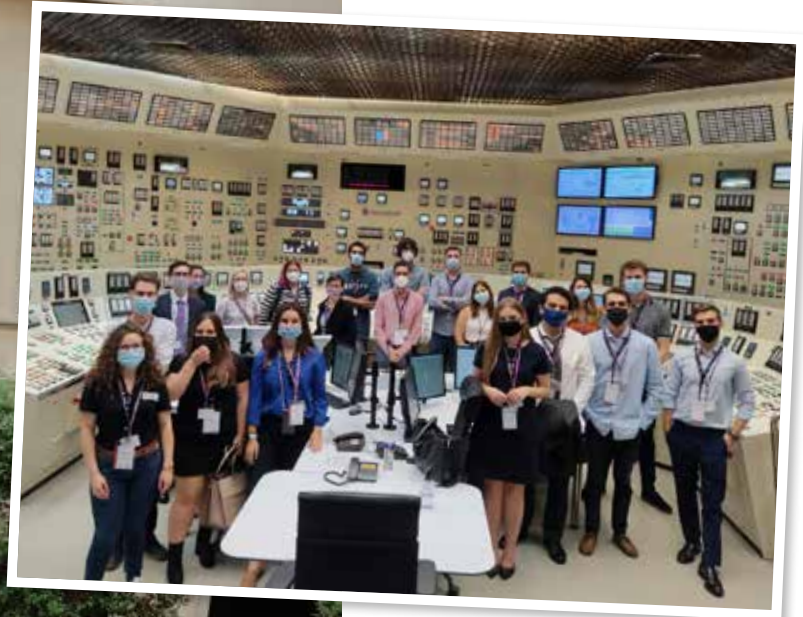
The conference included a variety of workshops in the afternoons that offered participants the opportunity to consider current challenges in the energy sector and nuclear field. On the third day of the forum Fennovoima organized a workshop that challenged participants to propose concepts for district heating solutions considering SMR and microreactor technologies.

The participants were able to propose a variety of creative ideas in the short time allocated, followed by questions and lively discussion. One proposal was for a floating SMR based on conventional technologies that would be relocatable depending on the season or emergency needs. SMRs were a hot topic at the meeting and the workshop was well-attended.

One of the other workshops was led by Cécile Massart, an artist from Belgium. Her



"Nuclear for future" was shouted by the participants behind the masks in the neogothic area.



A big loss-of-coolant accident was generated in the control room simulator.

work has explored how art can reflect the invisible nuclear monument of the 21st century, and how future generations could be aware of the presence of nuclear materials through symbols and markings. While it was a somewhat unconventional topic for a technical meeting, the workshop was well-attended, and participants reflected on the importance of taking a step back to consider the bigger picture.

Experiencing the culture


The Imperial Cultural tour took place on the second day of the forum at the Roman ruins nearby the venue. An entertaining historian guided the participants through the Roman Theater and the Provincial Forum, presented the model of Tarraco (ancient Tarragona) and climbed with them on the top of the Praetor's

Tower. One of the outcomes of the tour was a slogan "To be Roman was cool!" and also doubt about whether Finns really invented sauna or if it was the Romans.

The in-person conference attendees experienced Catalan cuisine at standing tables in the warm afternoons, and some were surprised by the beverage service at lunchtime. After almost two years of isolation during the corona virus pandemic, to mingle and network between meeting sessions was a tentative but welcome opportunity.

Looking ahead

As Sama Bilbao y León, Director General of World Nuclear Association, concluded in person in the closing event, "We can be decision makers, and we should be. If you are not happy, go and change it", the ENYGF2021 successfully met its targets. It provided young delegates the international platform for open discussion, knowledge transfer and also the motivation and drive to look ahead.

The next ENYGF2023 will be held in Krakow, Poland, by the Polish Young Generation Network. Before it, there will be other excellent chances to meet other young nuclear professionals, such as in IYNC2022 in Sochi, Russia. 

Vihreiden ydinvoimakanta – neljän vuoden muutosprosessi

Tarkemmin politiikkaa seuraavat ovat huomanneet, miten vihreät puhuvat aiempaa neutraalimpaan sävyyn ydinvoimasta [1] ja osa liputtaa ihan avoimesti SMR-tekniikan ja hyötöreaktoreiden puolesta. Eniten näitä ihmisiä löytyy Tieteen ja teknologian vihreistä, Viitteestä.

Teksti ja kuvat: Antti Van Wonterghem

TÄHÄN MUUTOKSEEN ovat vaikuttaneet yhä huolestuttavammat tiedot ilmastotilan lämpenemisestä kansainväliseltä ilmastopaneelilta, kuten 5. yhteenvetoraportti vuosilta 2013–14 ja 1,5 asteen tavoitetta koskenut erikoisraportti vuodelta 2018. Toisena Saksan energiakäännöksi ei ole johtanut fossiilisten polttoaineiden alasajoon, vaan kyseenalaiseen geopolitiikkaan riippuvuuteen maakaasusta.

Kolmantena bioenergian asemaa hiilineutraalina on viimeisen kuuden vuoden aikana yhä voimakkaammin kyseenalaistettu [2] sekä sen haitalliset vaikutukset luontokadon ja 6.



Antti Van Wonterghem

Puoluevaltuuskunnan ja Tieteen ja teknologian vihreiden liittohallituksen jäsen

sukupuuttoaalton edistäjänä. Neljäntenä vaihtokautena on ollut ennen kaikkea vihreiden sisäiseen keskusteluun ja sitkeään perusteluun osallistuneiden aktiivien johdonmukainen työ.

Tämä ei ole ollut helppo polku ja syytöksiltä väärässä puolueessa olosta ja jopa myyräntyöstä ei ole vältytty. Epäonniset Olkiluoto3-reaktori ja Fennovoima ovat jättäneet ydinvoima-alalle ruman maineen, josta yli pääsemisessä on yhä tekemistä.

Soininvaara avasi keskustelun

Ensimmäisenä näkyvää jyrkän kielteisestä kannasta tinkimistä esitti puolueen arvostettu ajattelija, entinen puheenjohtaja Osmo Soininvaara. Hän asetti blogikirjoituksessa vuonna 2008 [3] ydinvoiman hyväksyttävyyden ehdoksi, että sillä aidosti korvataan fossiilista energiaa: ”Siksi olen ilmoittanut jo kauan sitten, että hyväksyn ydinvoiman sitten ja vasta sitten, jos voin vakuuttaa, että sillä aletaan korvata fossiilisia polttoaineita eikä tähdätä kuluksen kasvattamiseen.”

Puolueen näkyvimmäksi ydinvoiman tukijaksi noussut Atte Harjanne hätkähdytti jo Jämsän puoluekokouksessa vuonna 2014 aloitteella myönteisen ydinvoimakannan omaksumisesta. Silloin se hylättiin [4], mutta linjattiin, että ydinvoimaloiden ennen aikaista alasajoa ei ajeta [5]. Ydinvoima oli tuolloin erit-

tän kuuma peruna erityisesti Fennovoiman takia. Sitä ei pidetty järkevänä [6] ja muutamaa kuukautta myöhemmin vihreät jättivät Stubbin hallituksen sen puolelta Rosatomia laitos-toimittajana.

Seuraavat enteen muutosten tuulista saatiin pari vuotta myöhemmin. Vihreiden ilmasto- ja energiapolitiikkana asiantuntijana tunnettu Oras Tynkkynen yllätti Tsernobylin onnettomuuden 30-vuotispäivän alla Tuumassa julkaistulla kirjoituksella, jossa ilmaisi oman kantansa muuttuneen [7].

Viikkoja myöhemmin tämän jälkeen Lahden puoluekokous hyväksyi puoluestrategian, jossa vähennettiin yksimielisyyden vaatimusta ja annettiin enemmän liikkumatilaa kiistanalaisissa kysymyksissä. Sallivuus mielipiteiden kirjossa saattoi näkyä vuoden lopulla hyväksytyssä Energiavisiossa. Ydinvoimasta ei sanottu mitään suuntaan eikä toiseen [8].

SMR-poltamista kaukolämmön tuotantoon

Vuonna 2017 rohkeimmat kuntavaaliehdokkaat ottivat avoimesti kantaa pienydinvoimaloiden puolesta kaupunkien kaukolämmön ratkaisuna [9]. Laitoin tässä asiassa oman arvovaltani peliin silloisena puolueen ilmasto- ja energiapolitiikkayöryhmän puheenjohtajana. Tämä näkyi kevään mittaan hyvin vilkkaana




Vihreiden eduskuntaryhmän ja valtuuskunnan ministerivalintakokous 11.10.2021. Etualalla varapuheenjohtajat Atte Harjanne ja Iiris Suomela.

vihreiden sisäisenä ydinvoimakeskusteluna, jossa etenkin Suomen Ekomodernistien kannanoton allekirjoittaneet olivat aktiivisia.

Samana vuonna käytiin vaalit vihreiden puheenjohtajasta ja tästä syntyi kuohuntaa, koska yksi ehdokkaista oli voimakas ydinvoiman vastustaja. Puheenjohtajavaalin yhteydessä Viite otti yhteen tiukan linjan ydinvoiman vastustajana tunnetun Mika Flöjtin kanssa [10]. Tämä taidettiin haudata hyvin nopeasti, koska jo vuosina 2018 ja 2020 hyväksytyissä poliitti-

sessä tavoiteohjelmassa ja periaateohjelmassa kiistelyt jätettiin taka-alalle: puolue korostaa vähäpäästöisyyttä eikä kategorisesti sulje mitään keinoa pois.

Tulevaisuus näyttää sanooko puolue suoraan jotain myönteistä SMR-laitoksista, fuusios-ta tai hyötöreaktoreista. Viite on ollut puolueen sisällä voimakkaimmin kasvava jäsenjärjestö ja pyrkinyt yli 10 vuoden ajan mahdollisimman asiakaskeiseen argumentointiin ja haastamaan puolueen perinteisiksi koettuja linjoja.

Ja mikä parasta, Soininvaaran puheenjohtajakaudesta asti puolueessa on uskottu parhaan argumentin periaatteeseen. Vihreiden keskeisimpiä arvoja ovat koulutus ja sivistys, joten hyviä perusteluja kuunnellaan aina öyhöämisen sijaan. 

Kirjoittaja on opiskellut energiatekniikkaa Kymenlaakson AMK:ssa, toiminut puolueen ilmasto- ja energiapoliittisessa työryhmässä 3 kautta ja ylipäättään vihreissä 21 vuotta.

Linkit:

- <https://yle.fi/uutiset/3-12156603>
- <https://yle.fi/uutiset/3-7844226>
- www.soininvaara.fi/2008/11/09/mina-ja-ydinvoima/
- www.ksml.fi/paikalliset/2625919
- www.hs.fi/politiikka/art-2000002737435.html
- <https://yle.fi/uutiset/3-7284323>
- www.vihreatuuma.fi/1026-2/
- www.viite.fi/2016/12/04/viitteen-terveiset-vihreiden-energiavisioon-liittyen/
- <https://ekomodernismi.wordpress.com/2017/03/16/vaaliehdokkaatydinkaukolampo-mukaan-kaupunkien-energiapalettiin/>
- www.iltalehti.fi/politiikka/a/201706062200188488

Fortum and Uniper joined forces in nuclear decommissioning and dismantling – joined execution of four-unit decommissioning program in Sweden

Four Swedish nuclear reactors in Barsebäck and in Oskarshamn owned by Uniper and Fortum are currently being decommissioned in a coordinated program. The programme is one of the first large-scale ND&D programs in Europe with total value of approximately 1 billion EUR. Since 1 October 2021, Fortum and Uniper cooperation is contracted to deliver the scope of technical dismantling and waste management.

Text: Anni Jaarinen, Michael Bächler



M.Sc. Anni Jaarinen

Head of Nuclear Services and Fortum's
Head of Fortum Uniper ND&D cooperation
Fortum Power and Heat Oy
Anni.Jaarinen@fortum.com



Graduate Engineer Michael Bächler

SVP Nuclear Decommissioning and
Dismantling Services and Uniper's Head
ND&D cooperation
Uniper Nuclear Sweden
Michael.Baechler@swe.uniper.energy

FORTUM AND UNIPER have entered into close cooperation in nuclear decommissioning and dismantling, the Fortum Uniper ND&D cooperation. Through this cooperation the companies combine decades of nuclear experience and a wide variety of competencies which will deliver world-class value for customers. The vision for the cooperation is to become a market leading ND&D service supplier in Europe.

Fortum and Uniper complement each other in a great way. While Uniper has been developing strong decommissioning competences and have a unique reference with the on-going decommissioning program in Sweden, Fortum brings specialized competence on radioactive waste management and customer-centric way of working to the cooperation.

Even though the future goal of the cooperation is geared towards the external markets, at first the primary focus for the cooperation will be the technical execution of the already ongoing decommissioning program of Oskarshamn 1 & 2 and Barsebäck 1 & 2 units. Safe and efficient execution of the four-unit decommissioning program serves as a platform to gain competence and learnings which will later on be utilized for the benefit of external customers. At the same time this approach also enables competence development and new career opportunities for nuclear experts in the Nordics.

Four units, two plants, one program

For the dismantling of four nuclear reactors at two different sites, a portfolio strategy was chosen and is being executed. Some of the defining elements and characteristics of the strategy are listed in the following.

Despite two separate licence holders and sites, the radiological dismantling of the four reactors is carried out in one common 8.5 years program to create logistical and economic scale factor benefits. A one-program approach enables realization of synergy effects both in planning, steering, contracting, project staffing and execution.

To become manageable, from a planning, coordination, contractual and execution perspective, the entire workload has been divided into several separate large and mid-size work



Dismantling of condenser tubes in one of the Oskarshamn units (photo: Uniper).

packages (WP), mainly based on location and around large components, also allowing a step-by-step procurement process throughout the program timeline.

The work packages, such as cutting of reactor pressure vessel, are mainly performed in sequence. Sequential dismantling – moving from unit to unit with a “lead and learn” approach – allows for synergies, continuous development of methods and maximised utilisation of learning curve effects in many different areas. While a sequential approach has many advantages, it also introduces dependencies

between plants and sites since delay at one unit may have effects on following units as well as on program level.

To navigate such situations, avoid suboptimization and ensure that decisions are always based on the total cost of ownership having some type of overall program portfolio organization for planning, coordination and steering is vital. Implementing a control tower approach with consequent KPI (Key Performance Indicator) and milestone-based steering lays the foundation for strategic and operational management control.



With an overall program approach on one hand, it is also crucial to have a clear division of roles and responsibilities between the involved parties to support the daily execution as well as handle and escalate potentially conflicting interests. In this case the Fortum Uniper cooperation is responsible for the technical ND&D execution, with connected risks, and respective license holder remains in full control of the license holder obligations.

The setup where the cooperation, as of 1 October 2021, is acting as a supplier to the program Nuclear D&D Sweden and site contracts have been signed with the license holders of Barsebäck and Oskarshamn can be described as a vested business model: a model and method for creating highly collaborative win-win business relationships in which both parties are equally committed to each other's success.

Further, the cooperation project for handling the technical execution of Nuclear D&D Sweden is largely staffed by seconded employees from Uniper, thus ensuring for example plant knowledge while also reducing risk of loss of key competence during the decommissioning phase. The cooperation is also strengthened by seconded Fortum employees with complementary competences within decommissioning and waste management.

Another strategic decision is to use contractors outside the nuclear industry cluster

Oskarshamn unit 2 wet-well equipment being dismantled (photo: Uniper).



The first Reactor Pressure Vessel in the four-unit ND&D program to be completely removed from its original location. Now the Barsebäck 1 RPV is heading for final segmentation and waste management (photo: Uniper).

for some of the work. The conventional demolition companies are onboarded and provided with the needed nuclear competence, and they in turn contribute knowledge about efficient and safe demolition. So far, the ongoing dismantling has proved to be highly competitive in terms of cost and time according to external benchmarks.

The ND&D journey at Barsebäck and Oskarshamn

Power generation at Barsebäck's twin 600 MWe boiling water reactors (BWR) were shut down in 1999 and 2005, respectively, following political decisions in the late 1990s. Decision on premature permanent shutdown of the 473 MWe BWR reactor O1 and the

638 MWe BWR reactor O2 at Oskarshamn was made in 2015 for economic reasons. The Oskarshamn plant also has the 1 400 MWe BWR O3 reactor, currently scheduled to continue power generation until 2045.

During 2015-2020, planning and segmentation of reactor internals was performed at the four units and an interim storage building for waste was built at Barsebäck. Following some preparatory strategy planning in 2016, the program Nuclear D&D Sweden for dismantling of nuclear reactors Barsebäck 1 and 2 and Oskarshamn 1 and 2 – the first D&D of large, commercial nuclear plants in the Nordics – was initiated in 2017. The following year the portfolio strategy approach was decided and in 2019 contracts were signed for segmentation of the four reactor pressure

vessels. In 2020, the remaining large-scale D&D could begin.

In 2021, a milestone was reached when a first work package was finished on all four sites: dismantling of turbines and generators. Another symbolic event occurred in October 2021 when the last part of the first RPV to be completely removed was removed at Barsebäck 1 for segmentation and waste management.

Only about six percent of all waste from the four reactors is radioactive – amounting to 67,000 metric tons of active material. Most of that waste is low-level radioactive waste and will be smelted, incinerated or recycled. Intermediate-level waste is sealed in barrels and mixed with concrete. About half of the total active waste (approximately 33,000 met-




270 metric ton generator stator on its way to the barge for transport from Barsebäck to recycling company (photo: Jinert).

Reactor internals on their route to interim storage at the Barsebäck plant (photo: Uniper).



ric tons) is expected to be directly free to be released or recycled after proper treatment.

Due to the fact that Barsebäck and Oskarshamn have established on-site intermediate storages for low- and intermediate-level waste, waste and dismantling logistics can be handled more effectively awaiting a final decision and future completion of the Swedish Nuclear Spent Fuel Repository.

Safe and cost-efficient decommissioning not only has its intrinsic value but is also ensuring legitimacy for a new generation of nuclear power that has an important role to play in further global decarbonization and energy transition efforts. The four reactors will according to plan be radiologically dismantled in 2028, whereafter conventional dismantling will follow before the land can be used for future power production or other use according to owner's and society's intentions and needs. 

The Fortum Uniper ND&D cooperation in brief

- Fortum and Uniper combined capabilities and resources to provide nuclear decommissioning and dismantling services to external customers in June 2021.
- Operational cooperation in the Oskarshamn and Barsebäck decommissioning project started in October 2021.
- Headed by Anni Jaarinen, Fortum's Head of Fortum Uniper ND&D cooperation, and Michael Bächler, Uniper's Head of Fortum Uniper ND&D cooperation.
- Approximately 110 people are working for the cooperation, and altogether, including the two Swedish dismantling sites, about 250 are currently engaged in the ongoing ND&D activities.

Suomen ydinenergia- lainsäädäntö täyttää 50 vuotta ja voi hyvin

Teksti: Jorma Aurela

Vuonna 1957 Suomi sai oman atomienergiälakinsa. Tänä vuonna siitä on tullut kuluneeksi tasan 50 vuotta ja aivan kuin sen kunniaksi voimassa-olevaa ydinenergiälakia hieman hiotaan. Nykyinen ydinenergiälaki tuli voimaan vuonna 1988. Nyt sitä saatetaan nykyisen perustuslakimme vaatimusten mukaiseksi. Hallituksen esitys on tarkoitus antaa eduskunnan käsittelyyn jo tänä syksynä. 50 vuoden aikana Suomessa on otettu käyttöön viisi reaktoria ja kehitetty kokonainen infrastruktuuri ja osaminen atomienergia- ja ydinenergiälain myötä.

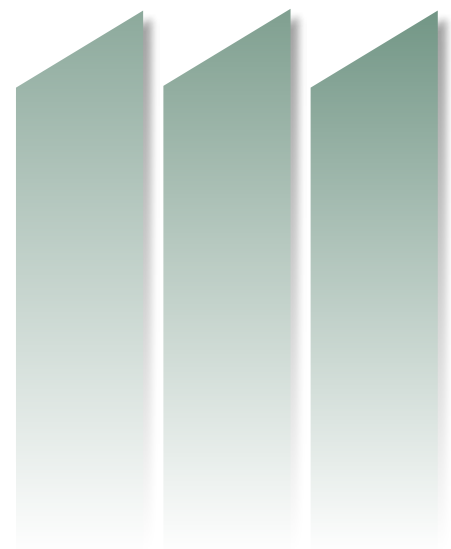
KESÄLLÄ 1956 valmistui Suomessa energiakomitean mietintö. Sen lähtökohtana oli Suomen energiatalous, mutta eräänä olennaisena kohtana maan suhtautuminen uuteen mahdollisuuteen, atomienergiaan. Presidentti Eisenhowerin ”Atoms for Peace”-puheesta 8.12.1953 oli vain kolme vuotta ja Suomessakin oli herännyt hillitty ydinenergiainnostus.

Energiakomitean puheenjohtaja, myöhempi akateemikko Erkki Laurila on aina painottanut tätä ja tarina kertoo, että hän myös halusi, että komitean nimi on energiakomitea eikä esimerkiksi atomienergiakomitea. Tässä akateemikko viitoitti myös Suomen tietä, joka merkitsi atomivoiman olevan normaalia teol-

lista toimintaa osana suomalaista energiataloutta.

Energiakomitean mietintö ei vastoin tavallista tapaa päätynyt laki- tai asetusehdotuksiin. Kuitenkin jo syyskuussa 1955 oli hallitus jättänyt esityksen eräänlaiseksi viisiosaiseksi atomilaiksi, mutta se ajautui vaikeuksiin ja vedettiin myöhemmin pois maaliskuussa 1957. Samana syksynä annettiin uusi esitys ja siitä sitten tuli nopeasti uusi atomienergiälaki.

Tämä laki sisälsi vain vähän siitä, mitä tänä päivänä luemme myöhemmästä ydinenergiälaista. Esimerkiksi ydinvoimalaitoksesta päätettiin kauppa- ja teollisuusministeriö, jonka oli myönnettävä rakentamislupa, jos laissa esitetyt edellytykset täyttyivät. Tällöin perustet-



tiin myös atomienergianeuvottelukunta, joka sai myöhemmin suuret taloudelliset mahdollisuudet luoda Suomeen osaamista ja infrastruktuuria.

Nykyiset laitokset rakennettiin atomienergiälain alla

Atomienergiälain mukaan rakennettiin sitten tutkimusreaktori ja neljä ydinvoimalaitosyksikköä. Vasta kun yhteiskuntakriittinen keskustelu 1970-luvulla ulottautui myös ydinvoima-alalle, alkoi näyttää selvältä, että varsinkin ydinlaitosten rakentamiseen liittyvät säännökset oli uudistettava. Akateemikko Erkki Laurila oli jälleen eräs käynnistäväistä voimista.

Toimikunta uudistamaan atomienergiälakia nimettiin vuonna 1977 hallintoneuvos, sittemmin oikeusministeriön kansliapäällikkö Raimo Pekkasen puheenjohtajana. Myöhemmin työtä vielä jatkettiin toisessa ydinenergiälakitoimikunnassa tunnetun veroprofessori Kari S. Tikan johdolla, jolloin valmisteltiin pääasiassa määräykset ydinjätehuollon järjestämiseksi.

Uusi ydinenergiälaki syntyi kymmenen vuoden vännön jälkeen, sillä se säädettiin eduskunnassa vuonna 1987 ja tuli voimaan vuoden 1988 alussa.

Sen keskeisiä pilareita ovat päätöksenteon ja luvituksen selkeyttäminen ydinlaitoshankkeita koskevan periaatepäätöksen (PAP) myötä, yhteiskunnan kokonaisedun käsite, Säteilyturvakeskuksen keskeisen aseman riippumattomana turvallisuusviranomaisena säätäminen, kuntien ja kansalaisten vaikutusmahdollisuuksien lisääminen, eduskun-

[Oheinen artikkeli on julkaistu ATS Ydintekniikan numerossa 3/2007.](#)

[Kirjoittaja on toiminut mm. Loviisan voimalaitoksella ja KTM:ssä ja on nykyään yli-insinööri TEM:n energiaosastolla. Hän on toiminut ATS:n johtokunnassa ja toimihenkilönä 1980-90-luvuilla. Artikkelin lopussa on kirjoittajan tuoreet kommentit.](#)



Vuonna 1994 ydinenergialakia muutettiin siten, että käytetyn ydinpolttoaineen kuljetus Venäjälle tuli mahdottomaksi. Viimeinen kuljetus Loviisasta tapahtui vuonna 1996. Kun Loviisan voimalaitos hankittiin, ajateltiin että käytetty polttoaine on arvotavaraa ja Neuvostoliitto vain lainasi polttoaineen Loviisaan. Nyt ollaan jälleen miettimässä uusia polttoainekierron menetelmiä. Lähde: IVO/Fortum.

nan rooli päätöksenteon viimeisenä lenkinä ja ydinturvallisuuden määrittäminen uudella tavalla.

Periaatepäätös on selkeästi poliittinen päätös. Sen tekee valtioneuvosto, mutta ylimpänä päättäjänä toimii eduskunta, sillä sen on hyväksyttävä tai hylättävä PAP.

Ratifiointimenettelyssä eduskunta ei saa muuttaa itse periaatepäätöstä, mutta käytännössä erilaiset lausumat ovat kyllä viihtyneet PAPpien kyljessä. Valtioneuvoston periaatepäätöksestä ei ydinenergiain mukaan voi valittaa, koska lopullisen päätöksen tekee eduskunta, ydinvoimapäätöksessä poikkeuksellisissa roolissa hallintoviranomaisena.

Ydinenergialakiin tuli myös aivan uusi yhteiskunnan kokonaisedun käsite. Tällä käsitteellä on haluttu korostaa, ettei kysymys ole

laillisuusharkinnasta, vaan tarkoituksenmukaisuusharkinnalla eli poliittisella harkinnalla ratkaistavasta asiasta. Päättäjän tulee yhteiskunnan kokonaisuutta harkitessaan ottaa huomioon kaikki ydinlaitoksen rakentamisesta aiheutuvat hyödyt ja haitat.

Kansalaisten osallistumismahdollisuudet hyvät

Periaatepäätös edellyttää, että ydinlaitoksen aiottu sijaintikunta puoltaa laitoksen rakentamista (YEL 14 §). Kunta voi siten estää ydinlaitoksen rakentamisen alueelleen. Tämä ehdoton veto-oikeus on eräs ydinenergiain uudistuksista.

Julkista kuulemista ja kansalaisten osallistumismahdollisuuksia parannettiin uuden lain

myötä, mutta nykyiset muotonsa ne saivat vasta ympäristövaikutusten arvioinnin myötä. Århusin sopimuksen voimaantulon myötä ydinenergiain muutoksella näitä osallistumismahdollisuuksia lavennettiin edelleen siten, että esimerkiksi tietyillä rekisteröidyillä järjestöillä on valitusoikeus ydinlaitoksen rakentamista koskevasta valtioneuvoston lupapäätöksestä.

Ydinenergiain 6 §:n mukaan ”ydinenergian käytön on oltava turvallista eikä siitä saa aiheutua vahinkoa ihmisille, ympäristölle tai omaisuudelle.” Raimo Pekkasen mukaan (ATS Ydintekniikka 3/91) tämä pykälä johtaisi tiukasti tulkiten siihen, ettei lupaa ydinlaitoksen rakentamiseen voitaisi lainkaan myöntää, koska vahingon vaaraa ei voida koskaan täysin poistaa. Käytännössä ydinenergian käytön on katsottu olevan turvallista, jos on ryhdytty tarvittaviin varotoimiin vaaran vähentämiseksi käytännön näkökulmasta riittävän vähäiseksi (ns. ALARA-periaate, As Low As Reasonably Achievable).

Tänä syksynä eduskunnalle annettavassa hallituksen esityksessä ehdotetaan tietyt ydin-

turvallisuutta koskevat säännökset koottavan uuteen lukuun, mutta turvallisuutta koskeva yleinen periaate lain kuudennessa pykälässä pysyy entisellään. Muuten, tarina kertoo sen olleen asian vatomiseen kyllästyneen aamu-areän ministeri Pekka Vennamon ehdotus sanasta sanaan.

Maailmassa ainutlaatuinen toimi oli ydinjätehuoltoon varautuminen, joka ydinenergialaissa järjestettiin aivan uudella tavalla. Rahat todella kerätään sitä mukaa kuin polttoainetta ja muita ydinjätteitä kertyy. Vuonna 1988 perustettiin kauppa- ja teollisuusministeriön yhteyteen Valtion ydinjätehuoltorahasto, joka hoitaa asian käytännön puolen ja tänä päivänä siellä on säilöttynä noin 1,6 miljardia euroa ja lisää kerätään vuosittain ydinsähkön hinnassa.

Toinen tarina kertoo, että ruotsalaiset tulivat tutustumaan ydinenergialain kehitystyöhön Suomeen ja matkustivat sitten kotiin Ruotsiin,

jossa nopeasti pistivät pystyyn saman ydinjättesysteemin jopa ennen suomalaisia. Hyvin on tämä asia edistynyt lahdan molemmin puolin.

Miten ydinenergialaki on toiminut?

Yhteiskunnan kokonaisetua on testattu vuosina 1993, 2001 ja 2002. Eduskunta on kaksi kertaa hyväksynyt valtioneuvoston periaatepäätöksen ja kerran vuonna 1993 hylännyt. Molemmat FIN5-äänestykset on ratkaistu pienen enemmistön turvin, mutta käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitoksen ratifiointi tapahtui selvin numeroin vuonna 2001.

Periaatepäätösprosessit ovat eläneet myös aina jatkuvan ydinvoimakeskustelun myötä, itse keskustelua elävöittäen. Voidaan sanoa, että päätökset heijastavat maailmalla ja erityisesti Suomessa tapahtunutta kehitystä energiakysymyksissä, mutta silloinhan on mahdollisesti tarkasteltu juuri oikeaa suuretta,

yhteiskunnan kokonaisetua. Median merkitys yleisen mielipiteen heijastajana, jopa joskus muotoajana on ollut suuri.

Prosessin myötä on käyty YVAa, ympäristövaikutusten arviointiprosessia vuonna 1994 annetun YVA-lain mukaisesti. YVA ei Suomessa ole periaatteessa osa luvitusta, mutta koska YVA-selostus on liitettävä periaatepäätöshakemukseen, on se käytännössä ainakin luvituksen esivaihe.

Kokemusten myötä voidaan väittää, että nämä rinnakkaislait (YEL ja YVA-laki) ovat eläneet yhdessä onnistuneesti. On väistämätöntä, että jonkun mielestä tällöin syntyy myös päällekkäisyyksiä, erityisesti kansalaisosallistumisessa, mutta toisaalta voidaan todeta, että YVAN ja PAPin näkökulmat poikkeavat toisistaan ja siksi peräkkäiset kuulemiset ovat tarpeen ja hyödyllisiä.

Ydinenergialakia on toki uudistettu useita kertoja. Ehkä merkittävin uudistus oli ydin-



Ydinenergialain 13 §:n mukainen yleisötilaisuus on käynnissä Loviisan liikuntahallissa lokakuussa 1991. Puhujapöytä on Vihreän liiton puheenjohtaja (1987–1991) Heidi Hautala. Istumassa ovat oikealta tilaisuuden puheenjohtaja, hallitusneuvos Yrjö Sahrakorpi ja ylitarkastaja Sakari Immonen, molemmat kauppa- ja teollisuusministeriöstä, sekä apulaisjohtaja Hannu Koponen Säteilyturvakeskuksesta. Kankaalla on kirjoittajan myöhempi päivämäärämerkintä. Tämä periaatepäätösprosessi loppui syksyllä 1993 eduskunnan hylättyä valtioneuvoston helmikuussa samana vuonna tekemän periaatepäätöksen.

Ydinenergialaki kohtaa kokonaisuudistuksen vuoteen 2028 mennessä?

LAIT JA IHMISET ELÄVÄT ERI SÄÄNTÖJEN MUKAISESTI. Suomi pääsi minun yksinkertaistukseni mukaan Ruotsin lainsäädäntöön mukaan tuossa vuoden 1362 tienoilla, kun oltiin mukana oikein kuninkaanvaalissa. Maa- ja kaupunkilakeja löytyy 1400-luvulta. Ydinenergian käyttöä alettiin säädellä vuodelta 1957 peräisin olevalla atomienergialainilla ja ydinenergialaki tuli voimaan vuonna 1988. Kirjoitin artikkelin noin 50-vuotiaana noin 50-vuotiaasta ydinenergialainsäädännöstä. Ja vuonna 2007 lainsäädäntö tuntui voivan hyvin ja oli mielekästä olla menossa mukana.

Nyt noin 30 kertaa muutettu ydinenergialaki on kohtaamassa uusia haasteita ja kokonaisuudistus on jo käytännössä alkanut. Myös Säteilyturvakeskuksen toiminta ja säännöstö kaipaavat uudistamista. Uusi teknologia edellyttää uusia toimia, koetut hyvät toiminnot säilytään. Itse olen myös varttunut ja tämän mukaisesti pääsen parin vuoden sisällä vaihtoon, jota nimitetään eläköitymiseksi. Uudet sukupolvet tulevat ja lait uudistuvat edelleen.

Jorma Aurela 7.11.2021

energialakiin joulukuussa 1994 tullut ydinjätteen vienti- ja tuontikielto, joka tuli voimaan asetuksella vuonna 1996. 1990-luvun alussa heräsi keskustelu Imatran Voiman Oy:n Loviisan voimalaitoksen käytetyn polttoaineen viennistä Neuvostoliittoon.

Vasta vuosikymmenen vaihteessa oli saatu tietää, että Loviisan käytetty polttoaine jälleenkäsitellään Tsheljabinskissä, jossa oli myös esimerkiksi tuotettu plutoniumia Neuvostoliiton ydinaseisiin. Ja vasta ATS:n Neuvostoliiton ekskursiolla vuonna 1991 pääsi ensimmäinen suomalainen ryhmä tutustumaan polttoaineen jälleenkäsittelylaitokseen Uralin takana.

Oli kuitenkin selvää, että ydinvoiman käytön hyväksyttävyydelle vienti Tsheljabinskiin oli rasite. Vuonna 1994 tuli sitten voimaan ydinenergialain muutos, jolla ydinjätteiden vienti ja tuonti kiellettiin. Viimeinen kuljetus Venäjälle tapahtui vuonna 1996. Ja jätteiden käsittely omassa maassa on ollut siitä lähtien olennainen osa suomalaista ydinenergialainsäädäntöä.

Käytetyn ydinpolttoaineen huoltoa varten TVO ja IVO perustivat Posivan vuonna 1995 ja periaatepäätös käytetyn polttoaineen lop-

pusijointulaitoksesta tehtiin vuonna 2001. Loppusijointulaitoksen rakentamislupahakemusta valtioneuvostolle odotetaan vuonna 2012 ja käytetyn polttoaineen loppusijointuksen suunnitellaan alkavan vuonna 2020.

Vuonna 2004 ydinenergialakia muutettiin siten, että voimayhtiöiltä kannetaan nykyisin vuosittain noin 3,7 miljoonaa euroa ydinturvallisuus- ja ydinjätetutkimukseen. Varat kerätään Valtion ydinjätehuolto-rahastoon erillisrahastoihin, joista varoja myönnetään tutkimukseen vuosittain. Vuonna 2006 tehdyn kansainvälisen arvioinnin tulosten mukaan myös tämä muutos on saavuttanut alan toimijoiden hyväksynnän.

Uudet vaatimukset maailmalta muuttavat suomalaisia käytäntöjä

Ja toisaalta ydinvastuulaki, säteilyturvallisuuslainsäädäntö ja vaikkapa kaivoslaki jatkavat omia kehityskulkujaan ydinenergialain rinnalla. Nyt on käynnissä prosessi, jossa ydinenergialaki sovitetaan perustuslain mukaiseksi mm. nostamalla ydinturvallisuusmääräyksiä aiempaa enemmän lain tasolle. Sen jälkeen vielä koko alempi säännöstö uu-

distetaan, mutta ydinenergialain keskeisiä periaatteita ei ole tarkoitus tällä kierroksella uudistaa.

On myös otettava huomioon, että EU ohjaa nykyistä energiatalouden sääntelyä yhä tiukemmin ja vaikka ydinenergia on tähän asti pysynyt direktiivitehtailun akanvirrassa, osoitti taannoinen ydinturvapaketti, ettei näin ole ikuisesti. IAEA ja muu kansainvälinen yhteistyö luonnollisesti ovat aina suomalaista ydinenergialainsäädäntöä taustalta ohjaavia tekijöitä.

Entä nyt? Onko kaikki valmista? Ei varmastikaan. Esimerkiksi periaatepäätökset ovat yksittäistapauksia. Raamit meillä on, mutta juuri nyt on kehkeytymässä haasteita, joissa ydinenergialakia edelleen punnitaan. Teollisuus on tehnyt tai tekemässä uusia aloitteita, joihin yhteiskunta reagoi juuri ydinenergialain antamin eväin. Ydinvoiman käyttö ei edelleenkaan ole vailla riskejä, mutta yhteiskunnallinen hyväksyttävyyden voidaan omalta osaltaan taata jatkuvasti ajassa kehittyvällä lainsäädännöllä.

DI Jorma Aurela

Yli-insinööri
Kauppa- ja teollisuusministeriö
Energiaosasto

Ihmisten toiminnan huomioonottaminen ydinvoimalaitoksilla

Anna-Maria Teperi¹, Antti Piirto², Björn Wahlström³
¹Työterveyslaitos, ²AP Safety Management Oy, ³Aalto-yliopisto

Ihmisten ja organisaation toimintaan viitataan usein käsitteillä inhimilliset tekijät (HF, Human Factors) tai inhimilliset ja organisatoriset tekijät (HOF, Human and Organizational Factors), kun tarkastellaan niiden vaikutuksia laitosten ja prosessien turvallisuuteen. Artikkelissa luodaan katsaus HF-asioiden tämänhetkiseen tilanteeseen. Ydinvoimalaitoksissa HF-asioita käsitellään yleisesti turvallisuuskulttuuri-käsitteen alla. Tästä on sekä hyötyä että haittaa, sillä kulttuurikäsite voi rajata tekniset järjestelmät tarkastelun ulkopuolelle. Artikkelissamme käsitellään HF Tool™ mallia ja työkalua, jota on onnistuneesti sovellettu Suomessa ydinvoimateollisuuden hankkeissa ja muilla turvallisuuskriittisillä aloilla.

The input of humans and organizations on nuclear safety is often referred to as human factors (HF, Human Factors) or Human and Organizational Factors (HOF, Human and Organizational Factors). The article provides an overview of the current situation in HF matters, which generally in nuclear power plants are dealt with under the concept of safety culture. This is both beneficial and somewhat detrimental, as the concept of culture sometimes excludes considerations of interfaces to the technical systems. Our article deals with the HF Tool™ model and tools that have been successfully applied in Finland in nuclear power industry projects and other safety-critical sectors.

Ihmisten ja organisaation toimintaan viitataan usein käsitteillä inhimilliset tekijät (HF, Human Factors) tai inhimilliset ja organisatoriset tekijät (HOF, Human and Organizational Factors). Käytetystä käsitteestä riippumatta on tärkeää tulkita aihetta sekä laajasti että syvällisesti, kuten esimerkiksi viitteessä [1].

HF-alue on monitieteinen ala. Se hyödyntää systeemiajattelua eli tarkastelee ihmisten, organisaatioiden ja tekniikan yhteensovittamisen ja keskinäisten riippuvuussuhteiden kokonaisuutta. Ala luo sekä teoriaa että kehittää käytäntöjä.

HF-alue pyrkii siihen, että ihmisen toimintaa ymmärrettäisiin mahdollisimman laajasti järjestelmien, työvälineiden, työolosuhteiden, työtehtävien, työympäristöjen ja koulutuksen suunnittelussa ja kehittämisessä. Ydinvoima-alalla termiä on käytetty kuvaamaan sitä, että ihmisten ja organisaatioiden toimintaa otetaan huomioon systeemien suunnittelussa, johtamisjärjestelmissä sekä prosessien määrittelyissä ja toteutuksissa.

Inhimillisten tekijöiden hallinta on ajankohtainen teema ja myös pakollista ydinvoimassa, kuten monella muullakin turvallisuuskriittisellä alalla.

HF tulee ottaa huomioon käyttöorganisaation luomisessa, henkilökunnan rekrytoinnissa, osaamisen rakentamisessa sekä käytännön työn organisoinnissa. Turvallisuuden varmistamiseen HF:n näkökulmasta kuuluvat myös käyttötapahtumien analysointi, valvomoiden ja käyttöohjeiden suunnittelu sekä käyttökokemusten hyödyntäminen siten, että käyttäjän näkökulmaa kuullaan sekä osataan jäsenellä ja sanoittaa.

Keskeinen syy HF:n hallinnalle on ihmisen työn helpottaminen ja sen tehokkuuden varmistaminen. Ei voida luottaa automaation pystyvän kaikkien mahdollisten häiriöiden selvittämiseen, vaan tähän tarvitaan ihmisten osaamista, joustavuutta ja uusien menettelytapojen keksimistä tiukoissakin tilanteissa.

HF-käsite kirjallisuudessa

Ihmisen toimintaa koskeva käsitteistö on ollut kirjavaa, ja ehkä siksi-kin hieman vaikeasti sovellettavissa käytäntöön. On käytetty käsitteitä Ergonomics, Human Factors ja Human and Organizational Factors.

Ergonomia-käsitteellä on pitkät perinteet erityisesti Englannissa [2]. Käsite nousi esille nimellä Human Factors Yhdysvalloissa, muun muassa Three Mile Island (TMI) -onnettomuuden analysoinnissa. Valvomon puutteellinen suunnittelu oli vahva peruste miettiä, miten systeemit pitäisi suunnitella ihmisten käytettäväksi. Tšernobylin onnettomuus kiinnitti huomiota myös organisaation merkitykseen ydinvoimalaitosten turvallisuudessa [3].

Nykyisin ajatellaan, että ihmisen toiminta on enemmänkin voimavara kuin heikoin lenkki monimutkaisten järjestelmien toiminnassa. Ihmisen ansiosta onnistutaan ratkaisemaan häiriöitä ja poikkeamia joustavasti odottamattomissakin tilanteissa. HF ajattelutapana ja alueena pyrkii auttamaan ihmisiä onnistumaan työssään. Ajatus ihmisestä heikoimpana lenkinä on korostunut, jos muita kokonaisuuteen liittyviä tekijöitä ei ole haluttu tai kyetty analysoidaan. HF-alue kattaa ympäristöön, organisaatioon, työhön tai tiimeihin ja yksilöihin liittyviä piirteitä ja toimintoja, jotka vahvistavat tai heikentävät terveyttä, turvallisuutta ja työn tehokkuutta [4].

Ydinvoimassa keskeisesti vaikuttavat tahot ovat lähestyneet termiä ja aihealuetta hieman eri suunnista. Ihmisen toiminnan merkitys tuli ensimmäisen kerran selkeästi esille vuonna 1979 TMI-onnettomuudessa, jonka perussyiksi todettiin muun muassa puutteet valvomon suunnittelussa, käyttöhenkilöstön koulutuksessa ja käyttöohjeiden rakenteessa. Myös seuraavia suuronnettomuuksia Tšernobylin ja Fukushima ydinvoimalaitoksilla voidaan perustellusti pitää epäonnistumisena HF-asioiden hallinnassa. Ne laajensivat HF-käsitettä selkeästi niin, että nykyisin myös organisaatioita, viranomaistoimintaa ja yhteiskunnan riskienhallintaa pidetään osana systeemistä HF:ää [5].

Tšernobylin onnettomuuden jälkeen vuonna 1986 International Atomic Energy Agency (IAEA) piti heti elokuussa Wienissä kansainvälisen kokouksen, jossa onnettomuuden syyksi katsottiin sopimaton ”ydinvoiman turvallisuuskulttuuri”. Tämän jälkeen IAEA on julkistanut monta dokumenttia ja standardia, joissa on määritelty, miten turvallisuuskulttuuria [6] ja HF-asioita pitää ymmärtää ja käsitellä laitosten suunnittelussa [7] ja käytössä [8]. TMI:n onnettomuus johti Yhdysvalloissa INPO:n (Institute of Nuclear Power Operations) perustamiseen, joka on ollut tärkeä taho sikkäläisten laitosten kehittämisessä HF-asioiden suhteen. Vastaavasti Tšernobylin onnettomuus johti WANO:n (World Association of Nuclear Operators) perustamiseen pitkälle INPO:n rakenteiden mukaisesti.

Tärkeä mekanismi organisaatioiden oppimiseksi on ollut vertaisarvioinnit (Peer Review -ohjelmat) laitosten välillä. Tämän ohjelman INPO otti käyttöön Yhdysvalloissa ja WANO maailmanlaajuisesti. IAEA on markkinoinut vastaavaa palvelua Tšernobylin jälkeen OSART-toiminnan kautta [9]. IAEA on edelleen laajentanut toimintaa viranomaispiiriin IRRP-palvelujen myötä [10].

Tšernobylin onnettomuuden jälkeen perustettu WENRA (Western European Nuclear Regulators Association) on myös ollut aktiivinen viranomaistoiminnan kehittämisessä ja harmonisoinnissa Euroopassa. HF-toiminta on nykyään standardoitu kansainvälisissä organisaatioissa kuten International Organization for Standardization (ISO) ja International Electrotechnical Commission (IEC).

Kokonaisvaltainen malli

HF-käsitettä määriteltäessä on tärkeä korostaa sen systeemitekniistä taustaa, jonka mukaan asioita tulee lähestyä sekä kokonaisuuksina että yksityiskohtaisesti. Suomessa tämä ymmärrettiin nykyisten käynnissä olevien laitosten suunnittelussa [11]. HF-alue kehittyikin voimakkaasti nimenomaan ydinvoima-alueella. Työtä hyödynnettiin myös mualla teollisuudessa. Lennonvarmistuksen tarpeisiin kehitettiin malli ja työkalu HF Tool™, jota on sovellettu myös ydinvoimateollisuuteen [12].

Alun perin malli kehitettiin sen takia, että HF-käsite johti käyttäjiä harhaan tuijottamaan yksinkertaisesti ihmisten tekemiä virheitä. Tämä soti HF-alueen alkuperäistä, kokonaisvaltaista tarkoitusta vastaan. Kyse on siitä, miten tekniset järjestelmät, työ- ja tuotantoprosessit sekä organisaation toiminnot ymmärretään ja suunnitellaan sekä miten näitä analysoidaan ja kehitetään ihmisen toimintaa tukeviksi.

Asioiden havainnollistamiseksi kehitettiin nelikenttä (kuvan 1 apila-kuva), HF Tool -malli, jossa kuvataan yksilöön, työn piirteisiin, ryhmän ja organisaation toimintaan liittyviä tekijöitä. Mallin avulla voi jäsentää ja tunnistaa ihmisen ja organisaation toiminnan kokonaisuutta (koko kuva), toiminnan eri tasoja (neljä tasoa) sekä työn ja turvallisuuden hallintaa koskevia yksityiskohtia (kuvan 1 kohdat 1...47) [4]. Nykyään HF Tool on ”enemmän kuin kuva”, sisältäen esimerkiksi koulutusmateriaaleja sekä tutkinnan välineitä.

HF Toolin käyttö ei rajoitu pelkkään tutkintaan, vaikka se onkin hyvä keino päästä alkuun välineen käytössä. Lisäksi sillä on käyttöarvoa riskiarvioinneissa, jokapäiväisessä toiminnassa ja työn kehittämisessä. Se voi auttaa esimiehiä ja työn suunnittelijoita esimerkiksi työn organisoimisessa ja työaikoihin kytkeytyvien tekijöiden tunnistamisessa. Se voi auttaa koko henkilöstöä jäsentämään ja tunnistamaan, millaiset erilaiset tekijät voivat vaikuttaa työssä onnistumiseen ja turvallisuuden varmistamiseen. Organisaation toiminnan kehittämisessä, kuten turvallisuusajattelun ja käytäntöjen uudistamisessa, on erilaisia kehitysvaiheita, jotka on hyvä tiedostaa ja tunnistaa. Eri kehitysvaiheissa voivat toimia myös erilaiset työkalut ja välineet [4].

Saadut kokemukset

Malli kehitettiin ensin ilmailun tarpeisiin, minkä jälkeen sitä on sovellettu laajasti monella muulla alueella. Ilmailuhuollossa HF Toolin avulla kehitettiin työn turvallisuuskriittisten vaiheiden tunnistamista eri organisaation tasojen sekä yhteistyökumppaneiden yhteistyönä. Mallia käytettiin kehitystyön viitekehyksenä, minkä lisäksi sen rinnalla käytettiin muitakin menetelmiä, kuten haastatteluja, työympäristön havainnointia sekä kognitiivisen kuormituksen kyselyä. Työn pohjalta määriteltiin työtä koskevia kehittämisohdotuksia, muun muassa kehitettiin rekrytointiin välineitä sekä työterveysyhteistyötä. Lakisääteistä arviointimenettelyä, työpaikkaselvitysprosessia, kehitettiin ilmailun huoltotehtävien turvallisuuskriittisen luonteen huomioimiseksi entistä paremmin.

Merenkulussa huomattiin, että toimialalla suhteellisen heikkona pysynyt raportointikulttuuri hyötyisi siitä, että poikkeamien raportoinnissa tuotaisiin esille myös onnistumisia, mikä on keskeinen idea HF Toolin käytössä. Mallia on hyödynnetty merenkulun ammattiryhmien simulaattoriharjoituksissa laajentamaan ajattelua toimintaan vaikuttavista tekijöistä.

Raideliikenteessä HF Toolia on hyödynnetty laajasti. Raideliikenteen organisaatiot ovat käyttäneet työkalua tietoisuuden kehittämisessä, koulutuksen toteutuksessa, poikkeamatutkinnoissa sekä turvallisuusajattelun ja -toiminnan uudistamisessa. VR-Yhtymän yhteydessä toimiva kaluston kunnossapito-organisaatio osallistui myös HF-toiminnan vaikutusten tutkimukseen.

Rakennusteollisuudessa HF Tool:ia muokattiin paremmin perinteiselle teollisuudenalalle sopivaksi, sillä aiemmat käyttöympäristöt olivat lähinnä turvallisuuskriittisiä toimialoja. HF Tool -malliin lisättiin viides taso kuvaamaan rakennusteollisuuden toiminnan luonnetta verkostomaisena kokonaisuutena, jossa aliarakoitsijoiden rooli on keskeinen. Tutkimuksessa testattu ja arvioitu lyhyt kahden tunnin perinteisellä tavalla toteutettu HF-koulutus ei luonut riittävästi vaikutusta turvallisuusoppimiseen [13]. Tulos on ymmärrettävä, koska HF-asioiden kehittäminen perustuu pitkäjänteiseen ja systemaattiseen kehitystyöhön, johon osallistuvat organisaatioiden eri tahot ja eri tasot.

1

YKSILÖN TOIMET JA PIIRTEET

01. Ammattitaito, työn hallinnan taso
02. Tilannetietoisuus
(tarkkaavaisuus, muisti, päätöksenteko, reagointi)
03. Normien ja sovittujen toimintatapojen noudattaminen
04. Kokonaisuuden ymmärtäminen
05. Tilanteiden ennakointi; oletukset ja varmistaminen
06. Yli- tai alikuormitus ja niiden hallintakeinot
07. Vireystila, väsymysoireet
08. Elämäntilanne, huolet, yleinen stressitaso
09. Ikä; työkokemuksen määrä ja laatu
10. Yleinen terveystilanne
11. Motivaatio, asenteet
12. Tunnereaktiot, mieliala

2

TYÖTOIMINTA, TYÖN PIIRTEET

20. Työn laatu ja sisältö, työtilanteen vaativuus
21. Työn määrä; aikapaine, kiire
22. Työnjako, tehtäväkuvaukset, töiden organisointi; selkeys
23. Laitejärjestelmien/tekniikan toimivuus ja käytettävyys
24. Työmenetelmät ja ohjeet; miten kirjattu, toimivuus
25. Vaikutusmahdollisuudet omaan työhön ja työoloihin
26. Työstä saatu palaute, ammatillinen arvostus
27. Mahdollisuus/kyky arvioida ja kehittää omia työprosesseja
28. Koulutus; sisältö, vaikuttavuus, mahdollisuudet järjestää
29. Fyysinen työympäristö, työolosuhteet, työhygieeniset tekijät
(ilmastointi, valaistus, lämpötila; layout)

**JATKUVASTI
MUUTTUVIEN
TILANTEIDEN
HALLINTA****ORGANISAATIOTASON TEKIJÄT**

40. Johtamistapa- ja järjestelmä
41. Organisaatio-/toimintakulttuuri
42. Eri organisaatiotasojen ja -tahojen välinen yhteistyö
(alue, yksiköt, konsernihallinto)
43. Kokonaihallinta, keskinäinen ymmärrys toistensa töistä
44. Tehdyt päätökset (mm. resurssit; henkilöstö, kalusto)
45. Muutoksen hallinta (henkilövaihdokset, järjestelmät)
46. Yhteistyökumppanit; toimintatapaerot, keskinäinen yhteistyö
47. Konsernipalvelujen tuki yksikölle (HR, talous)

4

RYHMÄTASON TEKIJÄT

30. Yhtenäinen kuva tilanteesta kaikilla jäsenillä
31. Ryhmän kaikkien jäsenten tietämyksen hyödyntäminen
32. Väärinkäsitykset, -tulkinnat, -kuulemiset sekä näiden korjaaminen (otetaanko puheeksi)
33. Ryhmän rakenne ja kiinteys, muu ryhmädynamiikka
(sosiaaliset suhteet, ilmapiiri, keskinäinen tuki)
34. Kommunikaatio eri yhteistyötahojen kesken
35. Tiedonkulku (käytännöt, mm. vuoronvaihto)
36. Päätöksenteko ryhmässä

3

© Työterveyslaitos

Kuva 1. Työterveyslaitoksen
kehittämä HF Tool™ -malli.

Ydinvoimalaitosten turvallisuusasiantuntijat oppivat vuosina 2015-2018 toteutetussa hankkeessa HF Toolin avulla tunnistamaan käytötapahtumien taustalla vaikuttavia inhimillisiä tekijöitä entistä syvälisemmin ja laaja-alaisemmin sekä huomioimaan paremmin myös onnistumisia. Tämä oli uusi näkökulma analyyseissä, joissa oli aiemmin selvitetty lähinnä riskejä, vaaranpaikkoja ja epäonnistumisia.

HF-näkökulman pitkäjänteinen toteutus on saanut aikaan käytännön parannuksia. Keskeisinä tekijöinä ovat olleet kehittämistyön sekä siinä käytetyn mallin kokonaisvaltainen lähestyminen, osallistavuus ja ratkaisukeskeisyys. [4, 12]

Liitännät turvallisuuteen

Sanonta ”jos jotain halutaan ohjata, sitä pitää pystyä mittaamaan” ei ehkä ole paikallaan puhuttaessa turvallisuuskulttuurista. Toki turvallisuuskulttuurista saadaan jonkinlainen kuva kyselyillä ja haastattelemalla, mutta arviot ovat subjektiivisia eikä voida olla varmoja siitä, että tulokset antavat turvallisuuskulttuurista oikean kuvan [14]. Intuiivisestikin ajatellen on selvää, että on vaikeata täydellisesti määritellä, mikä on hyvää turvallisuuskulttuuria ja miten pitää menetellä, jotta huonoa turvallisuuskulttuuria voidaan parantaa.

Turvallisuuskulttuurin käsite on nykyään ydinvoimassa laajasti käytetty turvallisuuden kehittämisen viitekehyksenä. Voimme jopa sanoa, että turvallisuuskulttuurikäsitteen alle on viety kaikkea, minkä jollakin tavalla ihmisten tai organisaatioiden kautta voidaan katsoa vaikuttavan turvallisuuteen. Näinkin varmasti on hyvä, mutta pitää varoa, ettei kaikkia turvallisuuskäsitteen alle tulevia asioita pyritä ratkaisemaan psykologian ja organisaatiotutkimuksen välineillä. On hyvä muistaa, että joissakin asioissa on yksinkertaisempaa muuttaa järjestelmiä kuin niitä käyttäviä ihmisiä [15].

Turvallisuutta kehitettäessä ydinvoimalaitoksilla keskeinen kysymys tulee aina olemaan, mikä on riittävä. Viime kädessä on kysymys saavutetusta turvallisuustasosta verrattuna siihen paljonko lisäpanostus toisi siihen parannusta. On selvää, että pelkästään viranomaisvaatimusten täyttäminen ei riitä, koska kolme ydinvoiman suuronnettomuutta ovat kaikki tuoneet lisää viranomaisvaatimuksia [5].

Todennäköisyyspohjaiset turvallisuusanalyysit (PSA, Probabilistic Safety Analysis) tarjoavat malleja, joilla voidaan arvioida ei-toivottujen tapahtumaketjujen todennäköisyyksiä. Erityisesti, jos löydetään tapahtumaketju, jonka todennäköisyys tuntuu suurelta, sitä voidaan eri toimenpiteillä (laitosmuutoksilla, koulutuksella, käyttöohjeilla) saada paremmin hallintaan. Näin onkin tehty Suomen laitoksilla, joista voidaan todeta, että reaktorisydämen sulamisriski on saatu alenemaan melkein dekadilla.

HF-asioita voidaan kuvata PSA:n mallintamismenetelmällä siten, että mahdolliset ohjaajavirheet sisällytetään tapahtumaketjuihin ja herkkyytarkastelun kautta arvioidaan parantamismahdollisuuksia ja niiden kustannuksia. Kaikkia HF-asioita on kuitenkin vaikea kuvata tapahtumaketjumalleilla – miten kuvata organisatorisia puutteita, kuten sopimatonta johtamisjärjestelmää, puuttuvaa luottamusta organisaation jäsenten välillä tai liian kireälle vedettyä resurssi- tai rahoitustilannetta. Tällaisten mallien kehittäminen on aloitettu, mutta riittävän käytännönläheistä menetelmää ei vielä ole tarjolla [5, 16].

Miten kattavasti arvioida turvallisuustyön kattavuutta ja riittävyttä HF-asioiden kannalta? On vaikeaa kvantitatiivisesti arvioida miten henkilöstöresurssit, koulutus ja organisaation ilmapiiri vaikuttavat kokonaisuuteen. Mahdollisten parannusten hinta on kuitenkin jotenkin arvioitavissa. Subjektiivinen kokonaisarvio voisi helpottaa mahdollisten parannusvaihtoehtojen arviointia, mutta senkin tulisi mahdollisimman hyvin perustua mitattaviin ilmiöihin.

Katse tulevaisuuteen

Elämme teknologioiden tiiviissä kehitysvaiheessa. Tulevaisuudessa voimme odottaa automaation hyödyntämistä kaikilla soveltamisalueilla (suunnittelussa, käytössä, kunnossapidossa, valvontatehtävissä). Tähän tullaan tarvitsemaan enenevässä määrin HF-alueen osaamista, jotta varmistetaan uusien teknologioiden täysmääräinen hyödyntäminen.

Usein uusi teknologia täydentää aiempia toimintatapoja mutta harvoin korvaa niitä kokonaan. Pienet modulaariset reaktorit (SMR), joita koskevat viranomaisvaatimukset ovat laadittavana, tarjoavat erinomaisen tilaisuuden ottaa HF-asiat huomioon alusta pitäen, jotta ympäristön turvallisuus tulisi entistä paremmin huomioiduksi.

Uusien teknologioiden luettelosta voidaan ottaa seuraavat esimerkit, joita mahdollisesti tullaan soveltamaan myös ydinvoima-alueella. Esimerkiksi tekstin koneellinen analysointi voisi soveltaa käyttöohjeiden laadintaan ja analysointiin. Jo nyt on näköpiirissä, että koneita voidaan ohjata puhumalla. Nykyään monilla systeemeillä on omaa sisäistä älykkyyttä, joka tukee tilannevalvontaa ja häiriöiden estämistä.

Simulointia hyödynnetään laajassa mittakaavassa järjestelmien suunnittelussa, ohjauksessa ja koulutuksessa. Tämän kehityksen taustalla toimivat tekoälyn uudet algoritmit ja tehostuneet laitteistoratkaisut. Taustalla oleva kehitystyö esineiden internetistä sekä verkkojen yhdistämisestä antaa myös mahdollisuuden rakentaa uusia automaatiotasoja laitosten osajärjestelmien ja komponenttien yläpuolella. Kiinnostava mahdollisuus on myös jo pelien maailmassa sovellettu tekotodellisuus (VR, virtual reality) suunnittelu-, valvonta- ja koulutustarpeisiin.

Tällaisen kehityksen rinnalla on selvää, että HF-osaamista tarvitaan lisää. Tämä pätee sekä teollisuuden eri aloihin että niiden asiantuntijatehtäviin. Tämä liittyy myös viranomaisvalvontaan. On tarve varmistaa, ettei teollinen toiminta aiheuta yhteiskunnassa kohtuutonta riskiä. Tulevaa kehitystä arvioitaessa on tärkeä taata koulutusjärjestelmille ja yliopistoille riittävät mahdollisuudet panostaa tuleviin haasteisiin. Voidaan myös olettaa, että ydinvoima tarjoaa mahdollisuuden omalla tavallaan osallistua ilmakehän hiilidioksidin vähentämiseen energian tuotantjärjestelmissä.

Ihmisen toiminnan huomioon ottaminen järjestelmien suunnittelussa ja käytössä on ajan myötä tullut yhä tärkeämmäksi. Tässä onnistutaan ottamalla huomioon yksilöiden, työtapojen, työryhmien ja organisaatioiden mahdollisuudet varmistaa sekä turvallisuutta että taloudellista tehokkuutta. Edellytyksenä on systeemien riittävä ymmärrys, resurssien tarkka suunnittelu ja käyttökokemusten hyödyntäminen. Tässä voidaan hyödyntää rakennettuja malleja [17], joiden rinnalle ja lisäksi tutkimuksen kautta tuodaan uusia näkemyksiä ja menetelmiä.

Viitteet

- [1] Jens Rasmussen, Inge Svedung (2000). Proactive Risk Management in a Dynamic Society, Swedish Rescue Services Agency, Karlstad, Sweden.
- [2] Elwyn Edwards, Frank P. Lees (1974). The human operator in process control, Taylor & Francis Ltd.
- [3] Geneviève Baumont, Björn Wahlström, Rosario Solá, Jeremy Williams, Albert Frischknecht, Bernhard Wilpert & Carl Rollenhagen (2000). Organisational factors; their definition and influence on nuclear safety, VTT Research Notes 2067.

- [4] Anna-Maria Teperi, Riikka Ruotsala, Ala-Laurinaho, A. (2021). Inhimilliset tekijät turvallisuudessa – onnistuneen kehittämisen elementtejä, <http://urn.fi/URN:ISBN:9789522619679>.
- [5] Markus Schöbel, Inmaculada Silla, Anna-Maria Teperi, Robin Gustafsson, Antti Piirto, Carl Rollenhagen, Björn Wahlström (2021). Human and Organizational Factors in European Nuclear Safety: A fifty-year perspective on insights, implementations, and ways forward, *Energy Research & Social Science*, 85, 102378.
- [6] IAEA (1991). Safety culture; a report by the International Nuclear Safety Advisory Group, INSAG-4.
- [7] IAEA (2019). Human Factors Engineering in the Design of Nuclear Power Plants, Specific Safety Guide No. SSG-51.
- [8] IAEA (1999). Management of Operational Safety in Nuclear Power Plants; a report by the International Nuclear Safety Advisory Group, INSAG-13.
- [9] IAEA (2016). OSART Guidelines; Reference Report for IAEA Operational Safety Review Teams (OSARTs), IAEA Services Series No. 12 (Rev. 1).
- [10] IAEA (2002). Guidelines for IAEA International Regulatory Review Teams (IRRTs), IAEA Services Series No. 8.
- [11] Björn Wahlström (2021). Human factors in nuclear power; reflections on 50 years of development in Finland, (in [14]).
- [12] Anna-Maria Teperi (2019). Applying Human Factors approach to renew Vision Zero. Finnish Institute of Occupational Health. Proceedings, Vision Zero Summit, Helsinki, Finland, 2019.
- [13] Maria Tiikkaja, Vuokko Puro, Tarja Heikkilä, Mikko Nykänen, Henriikka Kannisto, Lantto, Eero, Tuula Räsänen, Kristian Lukander, Uusitalo, J. (2020). Modernia turvallisuusoppimista rakennusosalalle (MoSaC): Tutkimushankkeen loppuraportti Työsuojelurahastolle. Työterveyslaitos, Helsinki.
- [14] Stian Antonsen (2009). Safety Culture Assessment: A Mission Impossible? *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 17:4, 242-254.
- [15] Carl Rollenhagen (2010). Can focus on safety culture become an excuse for not rethinking design of technology? *Safety Science*, 48, 268–278.
- [16] Justin Pence, Zahra Mohaghegh (2020). A Discourse on the Incorporation of Organizational Factors into Probabilistic Risk Assessment: Key Questions and Categorical Review, *Risk Analysis* 40.6 1183-1211.
- [17] Anna-Maria Teperi, Nadezhda Gotcheva (Eds. 2021). Human Factors in the Nuclear Industry; A Systemic Approach to Safety, Woodhead Publishing Series in Energy, Elsevier.

Kirjoittajat



FT, dos. Anna-Maria Teperi, FT
Tutkimusprofessori
Työterveyslaitos
anna-maria.teperi@ttl.fi



TkT Antti Piirto
Managing director
AP Safety Management Oy Ltd
antti.piiro@apsafety.fi



TkL Björn Wahlström
Prof. Emer.
Aalto-yliopisto
bjorn.wahlstrom@aalto.fi

VTT:n kaukolämpöreaktori LDR-50

Jaakko Leppänen
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

VTT:llä kehitetään parhaillaan matalassa lämpötilassa toimivaa modulaarista pienreaktoria, joka on tarkoitettu erityisesti kaukolämmöntuotantoon. Reaktorikonsepti yhdistää perinteistä kevytvesiteknologiaa innovatiiviseen passiiviseen turvallisuussuunnitteluun. Hankkeen tavoitteena on tarjota suomalaisten kaukolämpöverkkojen tarpeisiin skaalautuva luotettava ja taloudellinen lämmitysratkaisu korvaamaan fossiilisia polttoaineita vuoden 2030 hiilikiellon jälkeiselle ajalle.

A new low-temperature SMR specifically designed for district heating applications is currently being developed at VTT Technical Research Centre of Finland. The concept combines traditional LWR technology with innovative passive safety features. The goal of the project is to provide a scalable, reliable and cost-effective nuclear option for the decarbonization of district heating networks after the government-issued coal ban of 2030.

Oman kaukolämpöreaktorin kehitystyö käynnistyi VTT:llä keväällä 2020. Tätä oli edeltänyt pitkä esiselvitysvaihe, jonka kuluessa kartoitettiin ydinkaukolämmön mahdollisuuksia ja päästövähennyspotentiaalia Suomessa. Teknistaloudellisissa selvityksissä ydinenergia oli jo todettu kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi korvaamaan fossiilisia polttoaineita Helsingin kaukolämpöverkossa [1].

Teknologiaan liittyi kuitenkin myös merkittäviä haasteita. Perinteisen kevytvesilaitoksen hukkalämmön hyödyntäminen edellyttää pitkiä siirtoyhteyksiä, ja tuhansien megawattien tuotantoa on muutenkin vaikea sovittaa kaukolämpömarkkinoiden tarpeisiin. Täydellistä ratkaisua ei löytynyt myöskään pienreaktoriteknologiasta. Valtaosa esimerkiksi IAEA:n pienreaktorikäsikirjassa [2] listatuista reaktorikonsepteista on suunniteltu pääasiallisesti sähköntuotantoon. Yhteistuotantokäytössä tällaiset reaktorit soveltuisivat lämmittämään lähinnä pääkaupunkiseutua ja muita tiheitä asutuskeskittymiä. Suurten kaupunkien lisäksi Suomesta löytyy kuitenkin yli sata sellaista kaukolämpöverkkoa, joihin tarjolla olevat pienreaktorit olisivat kokoluokaltaan aivan liian suuria.

Yksinkertaista kevytvesiteknologiaa ja passiivista turvallisuutta

VTT:n reaktorihankkeen tavoitteeksi otettiin Suomen tarpeisiin räätälöidyn kaukolämpöreaktorin suunnitteleminen. Jakeluverkon syöttöveden lämpötila vaihtelee säätötilasta riippuen 65 ja 120 celsiusasteen välillä. Tällainen lämpötila-alue on saavutettavissa millä tahansa reaktoriteknologialla, joten perinteinen kevytvesireaktori oli varsin luonnollinen valinta.

Konsepti kulkee nimellä ”Low-temperature District Heating and Desalination Reactor”, tai lyhyemmin LDR. Englanninkielinen nimi vihjaa, että matalan lämpötilan reaktoreille voisi löytyä käyttöä myös puhtaan juoma- ja kasteluveden valmistuksessa. VTT:n hankkeessa on kuitenkin toistaiseksi tarkasteltu ainoastaan lämmityskäyttöä. Yksittäinen LDR-50-reaktorimoduuli tuottaa 50 megawattia lämpötehoa, eikä laitosprosessiin kuulu lainkaan höyryturbiinikiertoa. Tuotantoyksiköt voivat rakentua yhdestä tai useammasta itsenäisestä reaktorimoduulista, joten teknologia on skaalattavissa myös suurempien verkkojen tarpeisiin.

Teknologiariskien minimoimiseksi suunnittelussa haluttiin hyödyntää mahdollisimman paljon tunnettuja ja toimiviksi todettuja ratkaisuja. Polttoaineen ja ydinteknisten komponenttien osalta reaktori muistuttaakin tavanomaista painevesityyppistä pienreaktoria. Reaktorin sydän rakentuu 37 polttoainepipusta, jotka on korkeussuunnassa lyhennetty noin metrin mittaisiksi. Yksittäisen 17x17 sauvapaikasta muodostuvan nipun mittakaavaa on havainnollistettu kuvassa 1.

Sydänsuunnittelussa haluttiin jo lähtökohtaisesti välttää eksoottisia ratkaisuja, joiden todentaminen laskennallisoin tai kokeellisin menetelmin voisi osoittautua myöhemmässä vaiheessa haasteelliseksi. Kaupunkiympäristöön sijoitettujen pienreaktoreiden luvitukseen liittyy muutenkin niin paljon selvitettävää, että reaktorin ydinteknisessä suunnittelussa ei haluttu turhaan lähteä haastamaan viranomaisprosessia.

Sydämen osalta tavanomaisesta poikkeavat ratkaisut liittyivät lähinnä siihen, että reaktori on apujärjestelmien yksinkertaistamiseksi suunniteltu toimimaan ilman boorisäätöä. Häätäboorausta voidaan kuitenkin käyttää reaktorin sammuttamiseen, jos pikasulku säätösauvoilla epäonnistuu.



Kuva 1. LDR-50-reaktorin sydän muodostuu metrin mittaisiksi lyhennetyistä 17x17 -tyyppisistä painevesireaktorin polttoainepiipista. Sydämeen ladataan yhteensä 37 nippua.



Kuva 2. Lämpönieluna toimivaan vesialtaaseen sijoitettu LDR-50-reaktorimoduuli muodostuu sisemmästä reaktoriastiasta ja ulommasta suoja-astiasta. Poikkileikkauskuvaan on piirretty myös reaktorin sydän sekä lämmönvaihtimet. Primääri- ja sekundääripiirin putkistot sekä muita komponentteja on selkeyden vuoksi jätetty kuvasta pois.

Reaktorin sydämen sijaan suunnittelutyö onkin painottunut jäähdytysjärjestelmien toteutukseen. Primääripiiri on kokonaisuudessaan suljettu reaktorin paineastian sisälle. Vesi virtaa luonnonkierrolla reaktorisydämen ja lämmönvaihtimien välillä. Riittävän jäähdytevirtauksen aikaansaaminen edellyttää tiettyä korkeuseroa, minkä vuoksi reaktoriastia on muodoltaan suhteellisen kapea ja korkea. Reaktorin primäärikierto on erotettu kaukolämpöverkosta sekundääripiirillä ja lämmönvaihtimilla. Sekundääripiirin virtausta ylläpidetään sähkötoimisilla pumpuilla, joiden kierroslukua säätämällä toimintalämpötila saadaan asettumaan halutulle tasolle.

Reaktoriin ei kuulu perinteistä paineastinta. Kiehumavaran kasvatamiseksi primääripiiri on esipaineistettu tyypellä, ja käyttöpaine seuraa itsestään reaktorin toimintalämpötilaa. Tyypillisessä käyttötilanteessa paine nousee noin puoleen megapascaliin. Kylmimpien talvipäivien aikaan reaktori voi käydä kuumempina, ja hieman korkeammassa paineessa. Toimintaolosuhteet jäävät silti kauas perinteisistä kevytvesilaitoksista. Vaatimattomat toimintaolosuhteet vaikuttavat ratkaisevasti myös komponenttien mitoittamiseen. Reaktoriastian seinämävahvuudeksi riittää muutama senttimetri terästä.

Matala käyttöpaine ja -lämpötila helpottavat myös reaktorin turvallisuussuunnittelua. Integroitu rakenne poistaa suuren jäähdytysvesi-

putken katkeamisesta aiheutuvan jäähdytteenmenetyssonnettomuuden mahdollisuuden. Pienemmissä vuotoilanteissa primääripiirin matala paine rajoittaa merkittävästi vuodon määrää.

Reaktorin paineastia on edelleen suljettu syvyysuuntaisen puolustuksen uloimpana vapautumisesteenä toimivan paineenkestävän suoja-astian sisälle. Paineastioiden väliin jäävä tilavuus on mitoitettu siten, että vedenpinta ei missään primääripiirin vuotoilanteessa pääse laskemaan sydämen yläreunan tasolle. Reaktori- ja suoja-astian muodostama moduuli on kokonaisuudessaan upotettu lämpönieluna toimivaan vesialtaaseen. Reaktorimoduulin poikkileikkaus on esitetty kuvassa 2.

Kahdesta sisäkkäisestä paineastiasta muodostuva rakenne toimii reaktorin normaalissa toimintatilassa lämpöeristeenä, ja onnettomuus-tilanteessa passiivisena lämmönsiirtoreittinä ulos. Astioiden väliin jäävä tila on täytetty osittain vedellä. Normaalissa käyttötilanteessa lämmönvaihtimesta reaktoriastian ulkoreunaa pitkin alaspäin virtaavan veden lämpötila jää sadan asteen alapuolelle. Tämä rajoittaa myös välitilassa olevan veden lämpötilaa. Eristys ei ole täydellinen, mutta matalan käyttölämpötilan vuoksi häviöt jäävät muutama prosenttiin.

Jos aktiivinen lämmönsiirtoreitti primääripiirin lämmönvaihtimien kautta menetetään, lämpötila reaktoriastian alaosaan alkaa nousta.

Välitilan vesi alkaa lopulta kiehua, jolloin höyryn tiivistyminen suojaastian yläosan viileää ulkoseinämää vasten muodostaa passiivisen reitin ulos. Toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuvassa 3.

Passiivinen jäähdytysjärjestelmä muistuttaa rakenteellisesti amerikkalaista NuScale-reaktoria [3]. Toiminnallisesti kyse on kuitenkin erilaisesta järjestelmästä. NuScalessa passiivinen jäähdytyskierto käynnistetään avaamalla reaktoriastian ylä- ja alaosaan sijoitetut venttiilit, jolloin reaktorin lämmittämä primääri-vesi pääsee kosketuksiin suojaastian viileän seinämän kanssa. VTT:n ratkaisuun ei sen sijaan liity lainkaan liikkuvia mekaanisia osia.

Primäärinen vesikierto jää reaktoriastian sisälle, eikä jäähdytys edellytä syvyysuuntaisen puolustuksen vapautumisesteiden rikkomista. Järjestelmän toteutus nojaa pitkälti reaktorin vaatimattomiin toimintaolosuhteisiin. Vastavaava ratkaisu olisi vaikea saada toimimaan tavanomaisessa kevytvesireaktorissa, jossa veden lämpötila reaktoriastian alaosassa nousee väistämättä reilusti sadan asteen yläpuolelle. Keksinnölle myönnettiin patentti marraskuussa 2021.

Suunnittelua omilla työkaluilla

Reaktorin sydänsuunnittelun työkaluna on käytetty VTT:n uutta Kraken-laskentajärjestelmää, joka mallintaa neutroniikan, termohydrauliikan ja polttoaineen käyttäytymisen välistä kytkettyä ongelmaa [4]. Jokaista osa-aluetta käsittelevät ratkaisijat: Ants-nodaalineutroniikkakoodi, Finix-polttoaineratkaisija sekä Kharon-termohydrauliikkamoduuli on samoin kehitetty VTT:llä.

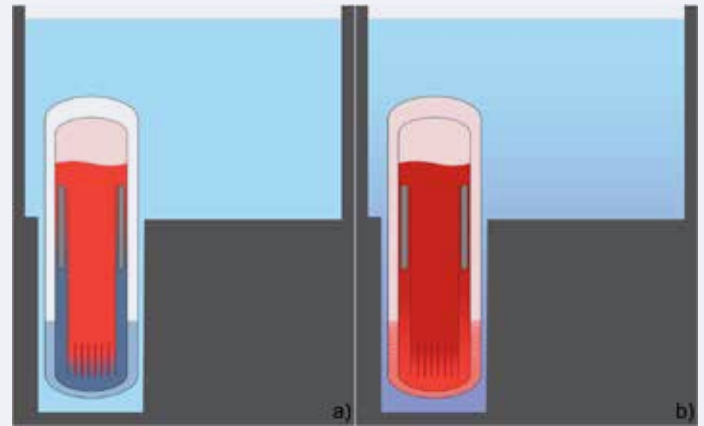
Sydänsuunnittelun suurimmat haasteet ovat liittyneet reaktorin toimintaan ilman boorisäätöä. Ylijäämäreaktiivisuuden hallinta on kyettävä hoitamaan säätösauvoilla ja palavilla absorbaattoreilla siten, että reaktorin sulkumarginaalit ja muut turvallisuusvaatimuksista kumpuavat reunaehdot täyttyvät käyttöjakson kaikissa vaiheissa. Ensimmäisen sydänkonfiguraation Kraken-analyysijä on käsitelty ICONe-28 -konferenssissa esitetyssä paperissa [5].

Uusimmissa analyyseissä reaktoria on mallinnettu myös kuormaseurantatilanteessa, jossa simulaation reunaehtoina on käytetty historiallista kaukolämpöverkkodataa. Reaktorin tehon ja toimintalämpötilan muuttuessa sydämen tehojakauma pyritään säätösauvojen avulla pitämään mahdollisimman tasaisena. Säätöä helpottaa reaktorin pieni koko, minkä vuoksi esimerkiksi fissiotuotemyrkyjen vaikutukset reaktorin tehoprofiiliin jäävät suhteellisen vähäisiksi. Kuormaseurantaa mallintavista Kraken-laskuista kirjoitettu paperi on lähetetty ensi keväänä järjestettävään PHYSOR-2022-konferenssiin.

Varsinainen suunnittelutyö on kuitenkin tehty VTT:n ja Fortumin kehittämällä Apros-prosessisimulaattorilla [6]. Lämmityslaitoksen Apros-malli kattaa reaktorin primääri- ja sekundääripiirin, lämmönvaihtimet, sekundääripiirin pumpit sekä kytkennän kaukolämpöverkkoon. Passiivisen jäähdytysjärjestelmän kuvaamiseksi malliin kuuluu myös reaktorin ja suojaastian välinen tila, sekä lämpönieluna toimiva vesiallas.

Reaktorin sydän on kuvattu joko yksinkertaisilla lämpöelementeillä tai pistekinetiikkamallilla. Tällaista kuvausta voidaan pitää riittävänä tarkasteltaessa reaktorin jäähdytysjärjestelmän toimintaa normaalissa käyttötilanteessa sekä transienteissa, joissa fissioteho katkeaa nopeasti pikasulkuun tai negatiivisiin takaisinkytkentöihin. Tarkemmat sydäntason analyysit tehdään Kraken-laskentajärjestelmällä, jolloin reunaehdot saadaan Apros-laskuista.

Aprosilla tehtyjä turvallisuusanalyysijä on esitelty ICONe-28 -konferenssissa [7]. Reaktorin normaalikäytön lisäksi ohjelmalla on mallinnettu erilaisia ongelmatilanteita, joihin kuuluu esimerkiksi täydellinen sähköverkon menetys, primääripiirin varoventtiilin aukeaminen, säätösauvojen ulosvetotransienti sekä lämmönvaihtimen vuototilanne, jossa



Kuva 3. Reaktori- ja suojaastian välinen tila on täytetty osittain vedellä. Rakenne toimii normaalissa toimintatilassa lämpöeristeenä ja ongelmatilanteessa passiivisena lämmönsiirtoreittinä ulos. a) Reaktorin normaalissa toimintatilassa primääripiirin lämmönvaihtimien läpi reaktoriastian pohjalle virtaava veden lämpötila on alle sata astetta, jolloin lämpöhäviöt suojaastian välitilan läpi jäävät pieniksi. b) Kun lämmönvaihtimien toiminta häiriintyy, lämpötila reaktoriastian alaosassa alkaa nousta. Välitilassa oleva vesi alkaa kiehua, jolloin höyryn lauhuminen suojaastian viileää seinämää vasten muodostaa tehokkaan passiivisen lämmönsiirtoreitin altaaseen.

korkeammassa paineessa virtaavaa sekundääripiirin vettä pääsee tunkeutumaan reaktorin primäärikiertoon. Onnettomuuksia on mallinnettu myös ATWS-tilanteina, joissa reaktorin pikasulku epäonnistuu.

Reaktorin turvallisuussuunnittelu nojaa pohjimmiltaan hyvin yksinkertaiseen periaatteeseen. Polttoaineessa syntyvä lämpö pyrkii luonnostaan siirtymään lämpönieluna toimivaan vesialtaaseen. Normaalissa toimintatilassa passiivinen lämmönsiirtoreitti pidetään suljettuna jäähdyttämällä reaktoriastian yläosaa primääripiirin lämmönvaihtimilla.

Vikatilanteessa reaktori palaa luontaiseen tilaansa, jossa lämpö siirtyy passiivisesti altaaseen. Vaatimattomien toimintaolosuhteiden ansiosta paine ja lämpötila reaktoriastian sisällä eivät pääse nousemaan sellaiselle tasolle, että syvyysuuntaisen puolustuksen vapautumisesteille koituisi vakavaa uhkaa. Reaktoriltaan kapasiteetti on mitoitettu ottamaan jälkilämpöä vastaan vähintään viikkojen ajan.

Reaktorin passiiviseen turvallisuussuunnitteluun liittyy luvitusmielessä vielä huomattavia haasteita. Viranomaisvaatimuksissa on kiinnitetty erityistä huomiota toisen sukupolven laitosten aktiivisiin järjestelmiin, joissa korkea turvallisuustaso saavutetaan erilaisilla vikasietoisuuskriteereillä sekä moninkertaisilla varmistuksilla. Reaktori, jonka hätäjäähdytys- ja jälkilämpöpoistojärjestelmiin ei kuulu ainuttakaan liikkuvaa osaa, on perinteisestä näkökulmasta tarkasteltuna melkoinen kummajainen. Pienreaktoreiden luvitukseen ja passiivisiin järjestelmiin liittyviä erityiskysymyksiä ollaankin parhaillaan selvittämässä.

Työ etenee

LDR-50-reaktorin kehitystyö on etenemässä konseptitason suunnitelmista komponenttien mitoitukseen. Passiivisen jäähdytyskierron toiminta riippuu ratkaisevasti lämmönvaihtimien suorituskyvystä. Optimointia tehdään parhaillaan yhteistyössä LUT-yliopiston kanssa. Tulevana vuonna suunnittelu tullaan laajentamaan myös laitoksen apujärjestelmiin. Determinististen analyysien lisäksi turvallisuutta tullaan arvioimaan todennäköisyyspohjaisin menetelmin, ja skenaariotarkastelut laajennetaan vakaviin reaktorionnettomuuksiin.

Piirustusten tarkentuessa ydinergiällä tuotetun kaukolämmön hintaa päästään arvioimaan tarkemmilla teknillistaloudellisilla malleilla. Lämmityslaitokselle on kaavailtu erilaisia sijoitusvaihtoehtoja, jotka

vaikuttavat myös kustannuksiin. Perinteisen maan päälle rakennetun lämmityslaitoksen lisäksi reaktorimoduulit voitaisiin sijoittaa joko kookonaan tai osittain maan alle, tai mahdollisesti jopa käytöstä poistetun konventionaalisen voimalaitoksen tiloihin.

Hanke on herättänyt paljon mielenkiintoa esimerkiksi kansallista pienreaktoriosaamista ja teknologiyhteistyötä edistämään perustetussa EcoSMR-yhteisössä [8]. Yhteydenottoja on tullut myös ulkomailta. Työn vieminen maaliin saakka tulee väistämättä edellyttämään tiivistä yhteistyötä ydinerogia-alan toimijoiden, valmistavan teollisuuden, sekä energian loppukäyttäjien välillä. Suunnitelma on kunnianhimoinen, mutta haasteellisuudessaan hyvinkin linjassa kansallisten ja kansainvälisten kasvihuonekaasupäästövähennystavoitteiden kanssa.

Viitteet

- [1] Lindroos, T. et al., 2019. "A Techno-Economic Assessment of NuScale and DHR-400 Reactors in a District Heating and Cooling Grid". *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 14, pp. 13–24.
- [2] "Advances in Small Modular Reactor Technology Developments". International Atomic Energy Agency, 2020.
- [3] www.nuscalepower.com/technology/technology-overview
- [4] Valtavirta, V. "Kraken - kotimaisen reaktorimallinnuksen tulevaisuus?" *ATS Ydintekniikka*, 4/2020.
- [5] Leppänen, J. et al. "A Finnish District Heating Reactor: Neutronics Design and Fuel Cycle Simulations." In proc. ICONE-28, Virtual Conference, Aug. 4–6, 2021.
- [6] www.apros.fi/welcome-to-apros/
- [7] Komu, R. et al. "A Finnish District Heating Reactor: Thermal-Hydraulic Design and Transient Analyses." In proc. ICONE-28, Virtual Conference, Aug. 4–6, 2021.
- [8] www.ecosmr.fi

Kirjoittaja



TkT Jaakko Leppänen
 Tutkimusprofessori
 Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
 Jaakko.Leppanen@vtt.fi

Lämpöreaktori korvaamaan kaukolämmön fossiiliset polttoaineet?

Tomi J. Lindroos
Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy

Merkittävä osa kaukolämmöstä tuotetaan fossiililla polttoaineilla, joista joudutaan luopumaan kiireisellä aikataululla sekä nousseiden päästöoikeuksien hinnan että muiden ilmastopoliittisten tavoitteiden vuoksi. Lämpöreaktorit tarjoavat tähän erittäin kustannustehokkaan vaihtoehdon yhdessä muiden korvaavien teknologioiden kanssa. Uusien teknologioiden pitää pystyä vastaamaan kaukolämpömarkkinoiden asettamiin haasteisiin ja vaatimuksiin. Kullakin uudella teknologialla kuitenkin on vahvuutensa ja heikkoutensa, joita tässä käsitellään lyhyesti.

Fossil fuels are still widely used in the production of district heating. However, those should be phased out due to increasing CO2 prices and other climate policy targets. Heat only nuclear reactors offer a cost-efficient option for this transition in collaboration with other new technologies. To succeed, new technologies need to be able to respond to requirements and demands of district heating markets. Each technology has its strengths and weaknesses that are discussed in this article.

Ydinvoimalla tuotetaan Suomessa sähköä, mutta maailmalla ydinlaitoksia käytetään myös kaukolämmön tuotantoon ja meriveden puhdistukseen juomakelpoiseksi [1]. Uudet pienet modulaariset reaktorit sopisivat kokoluokkansa puolesta näihin käyttötarkoituksiin paremmin kuin suuret gigawattiluokan yksiköt. Tässä jutussa esitetään tiivis katsaus Suomen kaukolämpöön, merkittävimpiin haasteisiin fossiilisten polttoaineiden käytön lopettamisessa, sekä keskeisimpiin vaihtoehtoihin fossiilisen korvaamiseen kaukolämmön tuotannossa.

Kaukolämpö tuotetaan lähellä

Suomessa kulutettiin 86 TWh sähköä ja 37 TWh kaukolämpöä vuonna 2019 [2, 3]. Sähköstä 23 % tuotiin Suomeen ja noin puolet kotimaisesta tuotannosta on isoissa yksiköissä kaukana suurista kaupungeista. Kaukolämpö taas tuotetaan lähellä kuluttajia sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa tai lämpökeskuksissa.

Kaukolämmön lähituotanto kannustaa käyttämään paikallisia polttoaineita ja lämmönlähteitä, mikä näkyy selkeästi eri alueiden polttoainejakauksissa (kuva 1a). Pienemmillä paikkakunnilla pääpolttoaine on tyypillisesti metsähake tai turve riippuen paikallisesta tuotannosta. Suurissa kaupungeissa ei ole riittävästi paikallista energiaa saatavilla, joten niissä on turvauduttu kivihieleen ja maakaasuun.

Fossiilisten polttoaineiden käytön hinta on kasvanut merkittävästi päästöoikeuksien hinnan kasvaessa sekä energia- ja ilmastopoliittikan kiristyessä, mutta Etelä-Suomen suurissa kaupungeissa on hankala löytää korvaavia energianlähteitä, sillä tarvittavat energiamäärät ovat

erittäin suuria. Turve ja fossiiliset on monella paikkakunnalla korvattu biomassalla paikallisten resurssien, nykyisten kattiloiden, ja tehtyjen investointien sallimissa rajoissa.

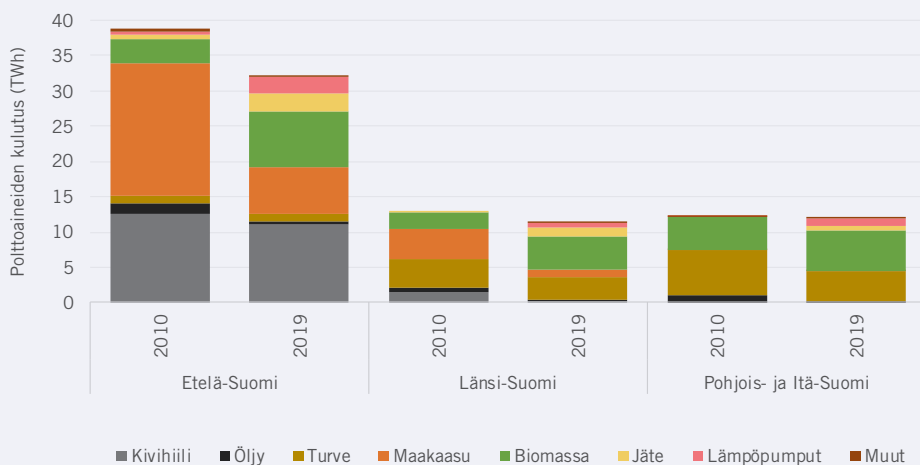
On hyvä huomata, että kuvan 1 näennäinen lasku polttoaineen kysynnässä johtuu keskivertoa lämpimämmästä vuodesta. Lämpötilakorjattu kaukolämmön kysyntä on Suomessa vielä lievässä kasvussa.

Fossiilisten käytöstä luopumisella kiire

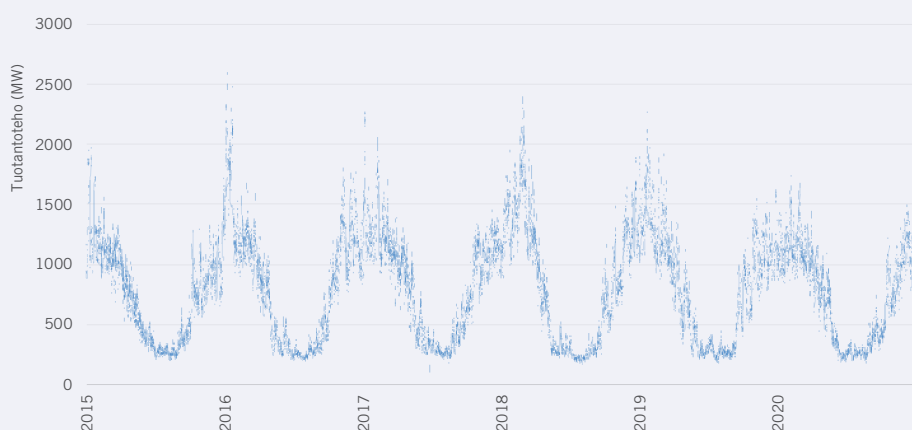
Suomen hallituksen tavoite on hiilineutraali Suomi vuoteen 2035 mennessä. Päästöjä on vähennettävä nopeasti ja paljon, vaikka osa päästöistä voidaan kompensoida kasvavien metsien hiilinieluilla. Maakunnasta riippuen pitäisi siis korvata turvetta, kivihieiltä ja maakaasua yhteensä noin 30 TWh.

Kaukolämpö on merkittävä liiketoiminta-ala ja keskeinen tekijä paikallisten asumiskustannusten muodostumisessa. Kaukolämmön myyntihinta koostuu energiamaksusta ja tehomaksusta, joiden summa vaihtelee paikkakunnasta ja asiakkaan kokoluokasta riippuen välillä 50–140 €/MWh. Käyttömäärien ja asiakasmääriä painotetun keskihinnan perusteella kaukolämmön arvonlisäveroton myynti on ollut viime vuosina suuruusluokkaa 2–2,5 miljardia euroa vuodessa [5]. Sähkön kulutuksen, markkinahinnan ja siirtomaksujen perusteella laskettu vastaava luku on vaihdellut 5 ja 9 miljardin euron välillä vuositasolla vuosina 2015–2020 [6].

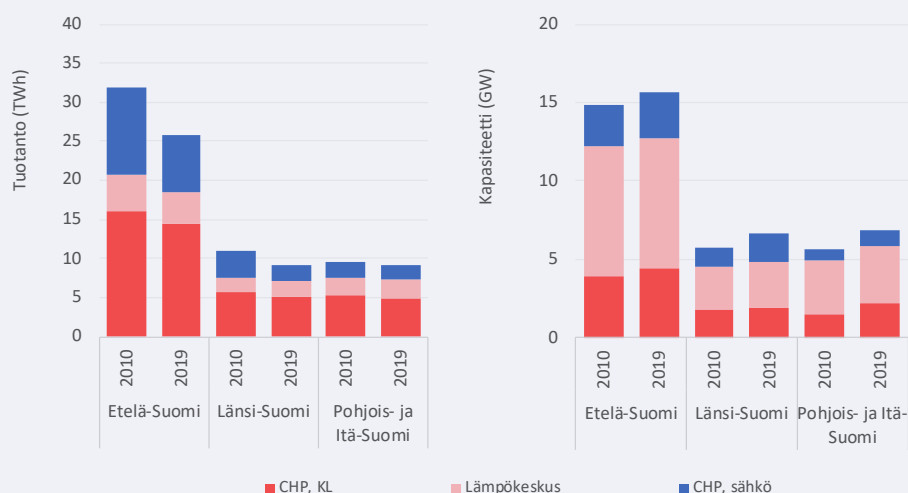
Fossiilisen tuotannon korvaaminen vaatii merkittäviä investointeja ja tämän toteuttaminen kustannustehokkaasti on monelle paikkakunnalle erittäin keskeinen kysymys.



Kuva 1. Suomen kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön polttoaineet alueittain [4].



Kuva 2. Helsingin kaukolämmön tuotantoaikasarja 2015-2020 [7].



Kuva 3. Tuotettu kaukolämpö ja yhteistuotantosähkö laitostyypeittäin sekä laitosten kaukolämpö- ja sähkökapasiteetti [4].

Talven huippukysynnät haastavia

Kaukolämmön kysyntä talvella on Helsingissä tyypillisesti luokkaa 7 kertaa suurempi kuin kesällä [7]. Kuvasta 2 näkee miten talven kysyntähuiput voivat Helsingissä olla jopa 12-14 kertaisia kesän kysyntään verrattuna ja viikonsisäiset tehonvaihtelut jopa yli 1000 MW. Kaukolämpöjärjestelmä tarvitsee siis paljon huipputuotantokapasiteettia, jonka käyttötunnit jäävät alhaisiksi ja tehonsäätökyky on suhteellisen nopeaa.

Lisäksi kaukolämmön kysyntään liittyy olennaisesti myös vuosivaihtelua riippuen kunkin vuoden lämmitystarpeesta. Kaukolämpöyhtiöiden onkin varauduttava erittäin kylmiin vuosiin, mutta toisaalta selvitävä taloudellisesti erittäin lämpimistä vuosista. Erilaisiin lämmityksiaisiin varautuminen vaikeuttaa myös investointien suunnittelua.

Yhteistuotanto keskeinen osa nykyistä sähköjärjestelmää

Suomessa monella paikkakunnalla on sähköä ja lämpöä tuottava yhteistuotantolaitos (CHP-laitos), joka on käynnissä talven lämmityskauden tuottaen lämpöä paikalliseen lämpöverkkoon ja sähköä pohjoiseurooppalaisille markkinoille.

Hintatasoista ja lämmitystarpeesta riippuen noin neljäsosa Suomen sähkökysynnästä on tuotettu CHP-laitoksilla teollisuudessa ja kaukolämmön tuotannossa. CHP-laitokset tuottivat 11 TWh sähköä vuonna 2019 ja tarjosivat 5,7 GW sähkökapasiteetin (kuva 3).

Kuva 3 konkretisoi kuinka kaukolämpöyhtiöt hoitavat talven kysyntähuiput pelkkää lämpöä tuottavilla lämpökeskuksilla, joiden yhteiskapasiteetti on erittäin suuri mutta vuosituotanto suhteessa paljon pienempi kuin CHP-laitoksilla. Tällä hetkellä tässä roolissa tyypillisesti ovat vanhat fossiilisia polttoaineita käyttävät lämpökattilat.

Biomassa fossiilisen kaukolämmön korvaajana

Biomassalla voidaan korvata fossiilisia joko suoraan sekapolttoaineena tai investoimalla pelkkää biomassaa käyttävään laitokseen. Seospolttu on laajassa käytössä erityisesti turpeen kanssa, mutta vanhojen kattiloiden teknologiarajoitteet tyypillisesti asettavat jonkin ylärajan biomassan osuudelle. Biomassan hyviin puoliin kuuluvat keskeisesti kotimaisuus, varastoitavuus ja fossiilisia halvempi hinta.

Uusia investointeja rajoittaa muutama keskeinen asia. Käyttämätöntä metsähaketta on jäljellä huomattavasti vähemmän kuin kauko-

lämmön tuotannon fossiilisten polttoaineiden korvaaminen edellyttäisi, ja lisäksi metsäenergiaa halutaan jalostaa myös liikenteen biopolttonesteiksi. Suomen metsähaketase vuonna 2030 onkin mallinnusten mukaan paikallisesti alijäämäinen ja yhtiöt joutuisivat turvautumaan osin tuontipelletteihin [8], joiden saatavuus ja hinta eivät ole riskittömiä useiden maiden lisätessä bioenergian käyttöä EU:n energia- ja ilmastodirektiivien kiristyessä.

Lisäksi biomassan käytön lisäämiseen liittyy keskeisesti keskustelu biodiversiteetistä ja metsien hiilinielusta. Nämä ovat omia erittäin laajoja kokonaisuuksiaan, mutta jo resurssiarvioiden perusteella biomassan käytön lisääminen on siis mahdollinen ratkaisu korvaamaan fossiilisia vain johonkin tiettyyn rajaan saakka. Pienemmällä paikkakunnilla ehkä kokonaan, mutta isoimmissa kaupungeissa hyvinkin rajallisesti.

Lämpöpumput fossiilisen kaukolämmön korvaajana

Lämpöpumppujen hinnat ovat laskeneet ja hyvät hukkalämmönlähteet ovat erittäin kustannustehokkaita tapoja tuottaa kaukolämpöä, kunhan ne ovat kaukolämpöverkkojen lähistöllä. Parhaimmat hukkalämmönlähteet onkin enimmäkseen jo hyödynnetty kaukolämmön tuotannossa.

Suurten lämpöpumppujen teknologia on kehittynyt, siten että suu-remmat lämpötilakorotukset ovat mahdollisia aiempaa paremmalla hyötysuhteella. Tämä on mahdollistanut ympäristölämpöjen, kuten ilman tai veden, käytön kaukolämmön tuotannossa. Suomen olosuhteissa on vielä yleensä kyse demonstraatiolaitoksista, mutta Helen on selvittänyt jopa 500 MW tehoista merivettä käyttävää lämpöpumppua korvaamaan fossiilista kapasiteettia [9].

Kaukolämmön lisäksi monet taloyhtiöt investoivat kiinteistökohtaisiin lämpöpumppuihin, jotka teknologiasta riippuen voivat joko leikata lämmönkulutusta (poistoilmalämpöpumppu, ilmalämpöpumppu) tai jopa irrottaa kiinteistön kokonaan kaukolämmöstä (maalämpö). Kiinteistökohtaisten ratkaisujen huonona puoleena on korkeammat yksikkökustannukset, mutta omakäyttölämmön lämpötila on matalampi ja siten hyötysuhde (COP) parempi.

Käytännössä lämpöpumput tuottavat koko vuoden ja korvaisivat siten monessa kaukolämpöverkossa CHP-tuotantoa. Tämä vähentäisi paikallista sähköntuotantoa ja lisäisi paikallista sähkön kulutusta. Lähtökohtaisesti siirtoverkot vaativat vahvistamista kaupunkialueilla ja valtakunnallisesti.

Lämpöreaktorit fossiilisen kaukolämmön korvaajana

Maaillalla alkanut trendi pienistä ja modulaarisista reaktoreista (SMR) sekä edellä läpikäyty Suomen kaukolämpösektorin tilanne tavoitteiden, rajoitteiden ja mahdollisten keinojen välillä ovat nostaneet lämpöreaktorit keskusteluun Suomessa. Lämpöreaktori olisi mahdollista suunnitella ja rakentaa nykyisiin ratkaisuihin ja passiivisiin turvallisuusratkaisuihin perustuen (kts. Jaakko Leppäsen juttu VTT:n kaukolämpöreaktorista tässä lehdessä).

Lämpöreaktorit ovat osoittautuneet alustavissa teknistaloudellisissa tarkasteluissa erittäin kustannustehokkaaksi ja kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi vähentää kaukolämmöntuotannon päästöjä [11]. Oletuksista riippuen takaisinmaksuaika voisi olla jopa alle kymmenen vuotta.

Taloudellisissa tarkasteluissa keskeisimmäksi epävarmuudeksi tunnistettiin lämpöreaktorin investointikustannus. Lämpöreaktori on erittäin investointivaltainen tuotantomuoto, jonka käyttökustannukset ovat verrattain edullisia. Investoinnin toteutuminen suunnitellusti ja suunnitelluilla kustannuksilla on taloudellisen kannattavuuden kannalta keskiössä.

Investointikustannuksen jälkeen tärkeimpiä muuttujia olivat polttoaineiden, päästöoikeuden ja pörssisähkön hinnat, jotka vaikuttavat nykyisten järjestelmien käyttökustannuksiin ja CHP:llä tuotetusta sähköstä saataviin myyntituloihin. Mitä kalliimpaa nykyisen järjestelmän käyttö on, sitä edullisempia uusinvestit suhteellisesti ovat.

Päästöoikeuksien ja polttoaineiden hinnan viimeaikainen nousu on voimakkaampaa kuin aiemmin mallinnetuissa skenaarioissa tai edes niiden herkkyytarkasteluissa. Jää kuitenkin nähtäväksi mille tasolle polttoaineiden ja päästöoikeuden hinnat pitkällä aikavälillä asettuvat.

Alustavat tulokset vastasivat hyvin kansainvälisessä kirjallisuudessa tehtyjä tarkasteluja. Lämpöreaktorit on todettu halvoiksi tavoiksi tuottaa lämpöä jo 1980-luvulla Secure-reaktoria koskeneissa tarkasteluissa [11] ja myös uudemmissa tutkimuksissa eri puolilla maailmaa.

Sijointipaikka, aikataulu ja julkinen hyväksyntä esteinä

Jatkoselvityksissä on keskitytty tunnistamaan lämpöreaktorien kannalta keskeisimpiä esteitä, joita ovat sijointipaikan löytäminen riittävän läheltä kaupunkia, todella kiireinen aikataulu fossiilisten korvaamiseen ja julkinen hyväksyntä.

Sijointipaikka vaikuttaa etenkin kaukolämpöverkkoon tarvittaviin investointeihin. Mitä kauemmaksi kulutuksesta lämpöreaktorit rakennetaan, sitä pidempi siirtoputki joudutaan rakentamaan. Pitkä siirtoyhteys nostaa hintaa ja aiheuttaa oman riskinsä projektin toteutumiseksi. Siirtoyhteyden lisäksi sijointipaikka vaikuttaa siirtoihin nykyisissä verkoissa, jotka on suunniteltu viemään lämpöä nykyisiltä laitoksilta kuluttajille. Uusi tuotantopaikka todennäköisesti edellyttää investointeja myös kaupunkialueen verkkoon.

Aikataulu fossiilisista polttoaineista luopumiseen on erittäin tiukka ja sitä on viime vuosina kiristetty. Esimerkiksi vuonna 2019 Suomen hiilineutraalisuustavoite aikaistettiin vuodesta 2040 vuoteen 2035 ja Helsingin kaupunki aikaisti vuonna 2021 omaa tavoitettaan vuodesta 2035 vuoteen 2030. Tämä tarkoittaa, että kaukolämpöyhtiöt joutuvat tekemään nykyisen kapasiteetin korvaavat investointipäätökset myös aikaisemmin. Onkin mahdollista, että lämpöreaktorit eivät ehdi korvaamaan kivihiihtä ja turvetta, vaan lämpöreaktorit olisivat mukana vasta seuraavissa vaiheissa, kun lähdetään korvaamaan maakaasua ja mahdollisesti jätteen ja biomassan käyttöä pidemmällä tulevaisuudessa.

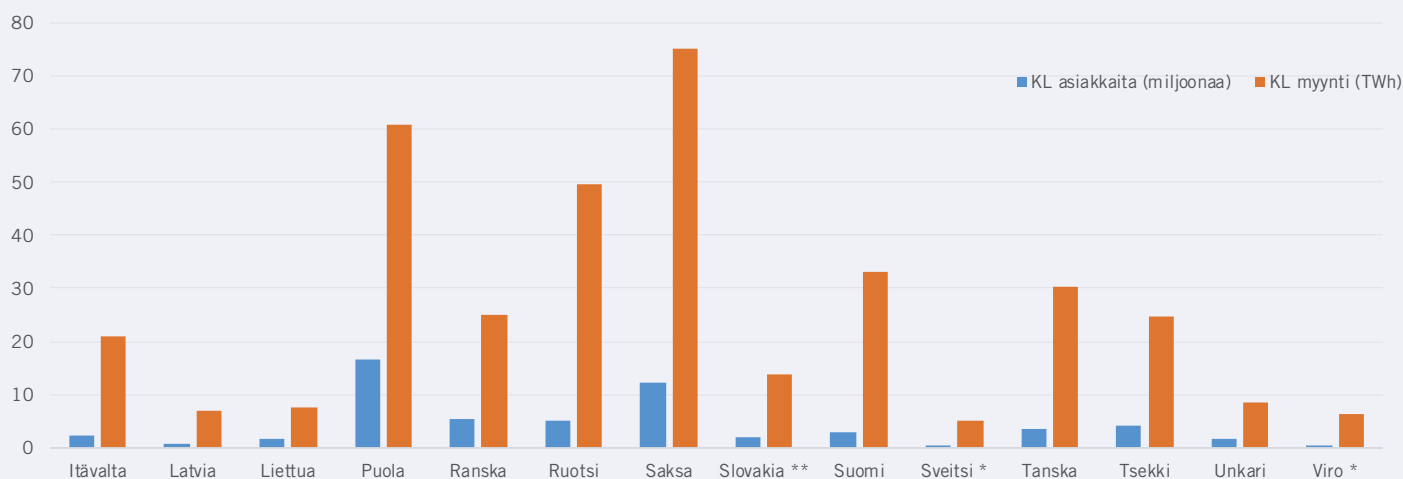
Julkinen keskustelu lämpöreaktoreista on muuttunut hyväksyttävämmäksi ja lämpöreaktorit ovat nykyään mukana suurten kaupunkien selvityksissä tulevaisuuden lämmöntuotannon vaihtoehdoista: tuoreina esimerkkeinä Helsingin lisäksi Espoo [12] ja Tampere [13]. Lämpöreaktorin rakentamisen kannalta tämä on ja pysyy erittäin keskeisenä elementtinä ja Yle on kirjoittanut historiikin 1980-luvulla käydystä keskustelusta [14].

Vientipotentiaalia

Monella Euroopan maalla on sama tilanne kuin Suomella ja onnistuessaan lämpöreaktoreilla on vientipotentiaalia. Entisestään mahdollisuuksia ja potentiaalia kasvattaa se, jos reaktorin lämpöä voidaan käyttää sekä lämmitykseen että puhtaan veden tuotantoon.

Kaukolämmön rooli on erityisen tärkeä Pohjoismaissa, Baltiassa, Puolassa ja Tšekissä, kun taas muualla Euroopassa kiinteistökohtaisen kaasulämmityksen rooli on selvästi suurempi kuin kaukolämmön. Toisaalta suuremmasta väkiluvusta johtuen Saksa on myyntimäärissä mitattuna Euroopan suurin kaukolämpömaa (kuva 4).

Ydinkaukolämpöä on jo käytössä useammassa Euroopan maassa, muun muassa Tšekissä ja Sveitsissä. Näissä maissa lainsäädäntöön ja lisärakentamiseen liittyvä keskustelu voi olla monin tavoin helpompaa.



Kuva 4. Kaukolämmön asiakas- ja myyntimäärät osassa Euroopan maita vuonna 2017 [15]. Sveitsin ja Viron data vuodelta 2015, Slovakian data vuodelta 2013.

Viitteet

- [1] Non-electric applications. IAEA. www.iaea.org/topics/non-electric-applications
- [2] Energiavuosi 2019, Sähkö. Energiateollisuus ry.
- [3] Energiavuosi 2020, Kaukolämpö. Energiateollisuus ry.
- [4] Kaukolämpötilastot. Energiateollisuus ry.
- [5] Kaukolämmön hintatilasto. Energiateollisuus ry.
- [6] Sähkön hintatilastot. Energiavirasto.
- [7] Helen Open data. District heating power 2015-2020.
- [8] Lindroos, T.J., Mäki, E., Koponen, K., Hannula, I., Kiviluoma, J., Raitila, J. Replacing fossil fuels with bioenergy in district heating – Comparison of technology options. Energy, Volume 231, 2021.
- [9] Meriveden lämmöntalteenottohankkeen ympäristövaikutusten arviointi on käynnistynyt. 2021. Helen.
- [10] Lindroos, T. et al., 2019. "A Techno-Economic Assessment of NuScale and DHR-400 Reactors in a District Heating and Cooling Grid". Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 14, pp. 13–24.
- [11] Stengarde, L. SECURE - the heat only nuclear reactor. 3. International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems; Helsinki (Finland); 6-9 Jun 1983.
- [12] Espoo saattaa avata oman pienen ydinvoimalan – samanlaisia suunnitellaan maailmalla. Helsingin Sanomat. 26.10.2021.
- [13] Kaukolämmön tulevaisuus. Tampereen sähkölaitos. www.sahkolaitos.fi/yrityksille-ja-taloyhtiaille/lamporatkaisut/kaukolammon-tulevaisuus/
- [14] Helsinki sai takavuosina tarjouksen ydinreaktorista, jonka "voisi asentaa vaikka Esplanadin alle", mutta kauppoja ei tullut – Miten käy uuden polven reaktoreille? Yle 6.5.2018.
- [15] Country profiles. Euroheat & power.

Kirjoittaja



DI Tomi J. Lindroos

Erikoistutkija
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
Tomi.J.Lindroos@vtt.fi

Prospects for using low-capacity nuclear heat plants in Finland

Roman Polin¹, Aleksander Glebov², Juri Baranaev², Irina Moskovchenko²

¹Scandia Protech Oy (Lappeenranta, Finland), ²Institute for Physics and Power Engineering (Obninsk, Russia)

An emission-free heat source for district heating systems has no comprehensive solution yet. Since 1990's Aleksander Glebov and Juri Baranaev have worked on the safe and optimal district heating nuclear plant named RUTA at Russian Institute for Physics and Power Engineering in Obninsk, Russia. Being improved in accordance with the Finnish nuclear legislation and regulations, the RUTA concept could be considered as a formally accident-free nuclear power plant candidate for district heating systems in Finland.

[Kattavaa päästötöntä ratkaisua kaukolämmön tuottamiseen ei ole vielä olemassa. Aleksander Glebov ja Juri Baranaev ovat 1990-luvulta asti suunnitelleet turvallista ja kaukolämmön tuotantoon optimoitua lämpöreaktoria nimeltään RUTA Venäjän Obninskissa sijaitsevassa Institute for Physics and Power Engineering -tutkimuslaitoksessa. Konseptia on parannettu ottamalla huomioon suomalainen ydinenergialainsäädäntö, joten RUTA tarjoaa Suomen kaukolämpöverkostoihin sopivan lämpöreaktorikandidaatin, joka on muodollisesti onnettomuusvapaa.](#)

According to the statistics of the Finnish Energy Association, 34.3 TWh of heat [1] and 81 TWh of electricity [2] were supplied to consumers in 2020. The share of environmentally friendly electricity production (solar, wind, hydroelectric and nuclear power plants) was 69.8%. However, there is no environmentally friendly thermal energy supply in the heat supply sector.

In energy production, the Finnish Government program sets the target to switch almost completely to nearly emission-free energy production by the end of 2030 [3]. In electricity production, this task is assessed as feasible, but there are currently no major alternatives to existing heat sources in the heat supply sector.

According to the "Roadmaps for sectoral reduction of carbon emissions", only one third of the traditional heat production capacities can be replaced by environmentally friendly ones [6]. Based on the foregoing, and considering long-term demographic forecasts, it can be assumed that the district heating production needs in Finland of a total capacity of 12.6 GW with a seasonal variation range of 1.8 GW to 12.6GW would not have a clear alternative.

Based on comprehensive global and domestic experience in the creation and operation of pool-type reactors in Russia, a special modification of the reactor plant for heat supply systems has been developed, called RUTA (Reactor Plant for Heat Supply with Atmospheric Pressure in the Primary Circuit) [4, 5].

RUTA has inherited all the high safety features of pool-type reactors. Its safety concept is based on the maximum development and use of inherent safety properties and passive safety features to ensure its self-protection. Due to high safety properties, such reactor plants

can be located within heat-consuming settlements [6, 7, 8]. Based on the above, the RUTA concept developed by Russian design institutes IPPE and NIKIET has chances of being implemented in Finland as a Finnish national nuclear energy project.

District heating nuclear plant (DHNP) with the RUTA reactor

The idea of providing Russian consumers with a source of internally safe, environmentally friendly, and cheap heat is implemented in the concept of the RUTA reactor. The RUTA-70 reactor plant was developed in the 1990s by IPPE and NIKIET and is the one of the latest modifications of this type of reactor.

RUTA-70 is a pool-type water-cooled reactor plant with forced circulation of the coolant at a rated thermal power of 70 MW, but also capable of operating with natural circulation of the coolant at a thermal power below 30% of the nominal rate. The main parameters of the RUTA-70 reactor plant are given in the table below.

The RUTA reactor concept is based on the following basic principles:

1. simplicity of the design and, as a result, low cost of construction and operation of the reactor, and
2. a high level of safety achieved due to design features and inherent safety mechanisms.

The following factors are the main contributors to the implementation of these principles:

- Low pressure in the primary circuit (atmospheric pressure)

- above the water surface in the reactor pool),
- Large heat storage capacity of water in the pool due to its significant volume,
 - Low power density in the reactor core,
 - Heat removal from the core in the natural circulation mode at an energy release below 30% of the nominal power, also during cooling down of a shutdown reactor (removal of residual energy release),
 - Three-circuit scheme of heat transfer to consumers with maintaining the lowest pressure in the primary circuit, and the highest pressure in the third one.

The reactor core with a reflector is in the lower part of the pool, while the main part of the reactor plant equipment, including heat exchangers between the primary and secondary circuits (TO-1/2), is located in dry rooms outside the reactor pool. Forced circulation of the primary coolant is provided by two circulation pumps - one in each of the loops. The structural diagram of the reactor is shown in Figure 1.

The reactor core includes 91 hexagonal fuel assemblies (FAs) with 120 fuel rods in each. The

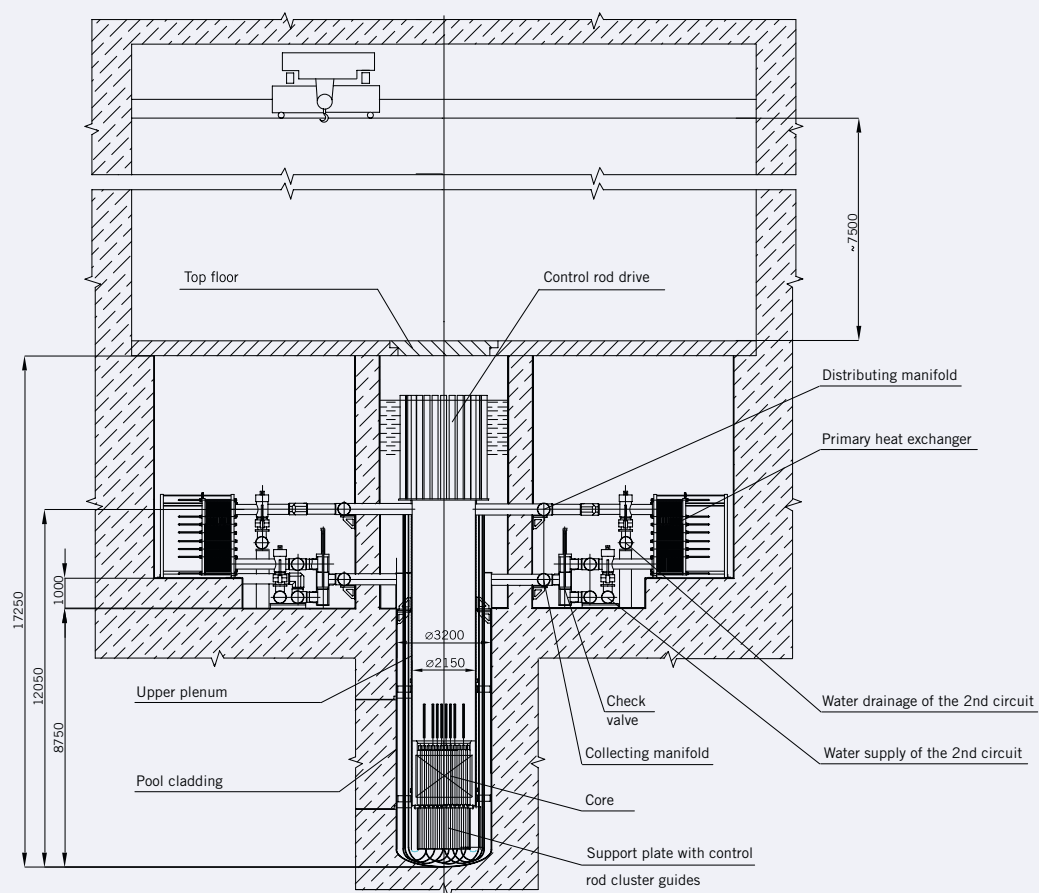


Figure 1. RUTA-70 Reactor plant (cross-section).

Table 1. Basic characteristics of the RUTA-70 reactor plant

Reactor rated power (N_{nom}), MW	70
Primary coolant circulation:	
- up to 30% N_{nom}	Natural
- from 30 to 100% N_{nom}	Forced
Core cooling	Double-circuit
Core dimensions (diameter/height), m	1.42/1.53
Fuel	UO ₂ or cermet (0.6 UO ₂ + 0.4 Al alloy)
Enrichment in ²³⁵ U, %	3.0 (UO ₂), 4.2 (cermet)
Uranium loading, kg	4,165
Number of fuel assemblies	91
Number of fuel rods in one fuel assembly	120
Fuel rod lattice spacing in the fuel assembly, mm	12.2
Water volume in the reactor pool, m ³	250
Water temperature at the inlet/outlet of the core, °C	75/101

height and equivalent diameter of the core is about 1.5 m. The design of the RUTA-70 fuel assembly cross-section is the same as that of the VVER-440 reactor fuel assembly, and the only difference is the length.

Two options for the fuel in the fuel rods are being considered - fuel rods with uranium dioxide (as in VVER-440) or rods with cermet fuel (60% UO₂ and 40% aluminum alloy). In the cermet fuel version, a tight contact of the fuel with the fuel rod cladding is ensured. In this case, the cermet fuel matrix creates a supplementary safety barrier (in addition to the fuel rod cladding). Another advantage of this type of fuel is its low operating temperature due to the high thermal conductivity of the fuel composition.

At the beginning of the fuel cycle, the excessive reactivity margin in the core is partially compensated for by a burnable absorber (gadolinium) distributed in the core in such a way as to ensure a uniform distribution of energy release in it. The rest of the excessive reactivity margin is compensated for by the control rods.

The DHNP solution with the RUTA reactor plant has three circuits. In the primary circuit of the reactor plant, there is a natural circulation of the coolant with an option of boosting the reactor by using circulation pumps.

Heat transfer from the primary circuit to the second and from the second to the third is carried out through sealed heat exchange sur-

faces. The second circuit is an intermediate circuit between the first (active) and third (network) circuits and meets the IAEA requirements [9]. The second circuit, consisting of two autonomous loops, is also used for normal and emergency cooling of the reactor. The third circuit is a consumer's circuit, the district heating network.

Reactor specifications

The reactor core is located in the lower part of the vessel, i.e., in the shaft. It consists of hexagonal shroud fuel assemblies located along a triangular lattice with a pitch of 147 mm with fuel rods of the VVER-440 type containing uranium dioxide fuel.

To improve the reliability of the fuel rods, the use of cermet fuel (60% UO_2 + 40% aluminum alloy) is considered, and to compensate for the initial excessive reactivity margin for burnup, gadolinium will be added to a part of the fuel rods [6].

The fuel assembly has a zirconium casing with a nut key size of 144 mm and contains 120 fuel rods, including 12 fuel rods with gadolinium, 6 control rod guide tubes, a control rod drive of a cluster type and a central tube for zone control sensors. The spacing of the fuel rods and control rods in the fuel assembly is 12.2 mm.

The fuel rods have the following properties: outer diameter/cladding thickness 9.1/0.69 mm; fuel core diameter/inner hole 7.53/2 mm; enrichment of ^{235}U 3%. In the cermet fuel rods, the cladding is tightly adhered to the core and there is no hole in the center. Control rods have an outer diameter of the cladding/thickness 8.2/0.5 mm with guide tube/thickness 11.2/0.6 mm and boron carbide concentration 1.7 g/cm³.

Fuel cycle calculations were carried out for a campaign refueling of all fuel assemblies and for a partial refueling with both oxide and cermet fuel for the core with a water reflector. With a partial refueling (once every 3 years or so), the annual consumption of fuel assemblies is about 1.5 times less than with a campaign refueling.

When switching from uranium oxide to cermet fuel with the same loading with uranium-235, an increase in fuel enrichment of about 1.4 times is required. Therefore, the nuclear peaking factors over the fuel assembly and over the core volume (K_q, K_v) increase slightly, but at the same time the fuel temperature decreases significantly from 860°C for UO_2 to 200°C for cermet. An additional barrier appears, preventing the release of fission products into the coolant circuit, which, in the event of fuel rod cladding leakage, is retained in the fuel matrix. The latter circumstance is especially important for DHNP, the location of which is planned near settlements.

Safety of DHNP RUTA

The RUTA reactor plant has high reliability as well as utmost safety and environmental friendliness, which makes it possible to bring the heat source closer to the consumer and, thereby, reduce the metal consumption, cost and heat losses of heat transmission pipelines. The locking correlation of pressures in the circuits of the reactor plant ($P_1 < P_2 < P_3$) excludes the possibility of release of radioactive products into the consumer circuit. The enhanced safety level of RUTA is achieved by the following main inherent properties:

- no overpressure in the reactor vessel
- high heat storage capacity of water in the reactor vessel
- integral layout of the 1st circuit in the vessel
- natural circulation of the coolant in the primary circuit
- low power density of the core (25-35 kW/liter)
- advanced power self-regulation properties due to negative reactivity feedbacks.

The physical barrier system includes:

- fuel matrix
- fuel rod cladding
- steel-lined reinforced concrete reactor vessel (pool) with a sealed cover
- sealed heat exchange surface of primary heat exchangers
- sealed enclosures of the premises of the central hall and systems connected to the primary circuit
- sealed equipment and pipelines of the secondary circuit and sealed heat exchange surfaces of the 2/3 circuit heat exchangers (i.e., network heat exchangers).

The combination of these factors makes it possible to deterministically exclude the possibility of an accident with melting or severe damage to the core in the RUTA reactor.

Feasibility for district heating in Finland

The RUTA-70 DHNP concept contains many technical solutions that are of great importance in assessing the safety of DHNP within the framework of Finnish legislation and regulations.

Finland has experience in operating a pool-type pressurized water reactor in urban environments. The FiR 1 TRIGA Mark II research reactor was in operation in Espoo in the immediate vicinity of densely populated areas in the capital region of Finland from 1962 till 2015. During this period, rich operational experience has been accumulated, which may be in demand when assessing the safety of a DHNP with a pool-type reactor plant in Finland.

Loviisa-1 and Loviisa-2 NPPs with VVER-440 reactors have been operated by Fortum Oyj since the mid-1970s. The RUTA-70 fuel assembly was designed on the basis of the VVER-440 fuel assembly, and despite the fact that RUTA and VVER have different thermohydraulic characteristics, the operational experience of Loviisa-1 and Loviisa-2 may be important in assessing the safety of the RUTA reactor plant.

It is important to note that when carrying out computer modeling of the design emergency modes of the RUTA-70 reactor plant in the scenario of stopping the circulation of the coolant in the primary circuit, the temperature of the cermet fuel did not rise above 172°C. In the Finnish regulatory framework (the YVL guidelines) the YVL B.4 §416 defines a class 1 accident in cases where more than 1% of the fuel rods are

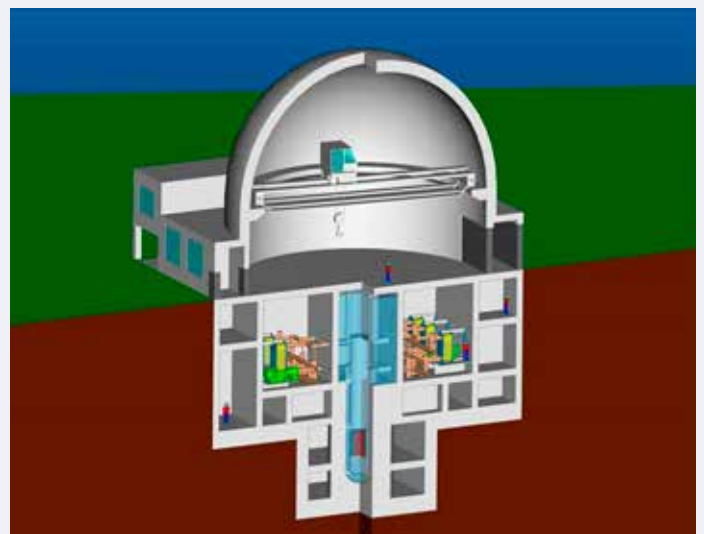


Figure 2. RUTA-70 visualization.

damaged as a result of the heat removal crisis and the fuel element cladding temperature is above 650°C [10]. It can be stated that, while maintaining the integrity of the fuel cladding, the fuel temperature does not reach the boundaries of the class 1 design basis accident, so the RUTA-70 reactor plant is formally accident-free.

Considering seasonal fluctuations in heat consumption, the load following capacity of the RUTA-70 reactor in the range of 21-70 MW is important in terms of the operational efficiency of the DHNP. If we consider a two-unit DHNP, the power level will meet the needs of consumers, when, during the period of minimum heat demand, one unit is shut down and the other drops to the minimum controlled power level, the total capacity of a two-unit DHNP being 21 MW with its peak power of 140 MW.

Development options of the RUTA-70 concept

Considering the availability of technically mature and safe concepts and a progress in changing the norms and legislation, DHNP can be seriously considered as an alternative for emission-free heat production for district heating systems in Finland. To convert it into a more practical mode, the following sets of measures are proposed with the aim of licensing and construction of a pilot DHNP project based on the RUTA-70 reactor plant.

The Finnish Nuclear Power Act in Section 11 establishes the need for a Decision-in-Principle by the Parliament of the country for nuclear facilities operated with a thermal power of more than 50 MW [11]. Thus, by changing the power rate of the RUTA reactor to a level below 50 MW, it will be possible to bypass the Decision-in-Principle and immediately proceed to the development of the DHNP project and preparing a set of construction licensing documents.

The first step towards making a set of licensing documents is to describe DHNP 2 x 50 MW in accordance with the requirements of STUK regulation Y/1/2018. This regulatory provision is the major one in the hierarchy of regulatory documents and the most essential document to describe the technical parameters of a nuclear power facility.

As a location site for DHNP 2 x 50 MW, we propose areas where combined heat and power plants (CHPP) and boiler houses with a capacity of more than 100 MW are operated to minimize changes to urban development plans of particular municipalities. Moreover, it makes sense to take CHPPs or boilers using peat as a fuel as the primary target location.

According to Finnish Energy Association statistics for 2020, there are 12 peat facilities in the cities of Joensuu (101 MW), Kuopio (two units, 235 MW in total), Oulu (two-unit station 170 MW and 157 MW, single-unit 120 MW and single-unit 100 MW), Pori (100 MW), Pietarsaari (100 MW), Jyväskylä (140 MW and 250 MW) and Rovaniemi (107 MW). The priority in replacing peat-firing capacities is associated with a public pressure on thermal power plants and boiler houses with considerable atmospheric emissions.

Development of environmental impact assessment

In accordance with Section 3 of the Environmental Impact Assessment Procedure Act (252/2017), construction projects of nuclear power plants must undergo an environmental impact assessment procedure regardless of their capacity.

The impact of DHNP 2 x 50 MW can be considered in the following aspects:

- DHNP 2 x 50 MW does not require constant cooling from external sources, thus, unlike traditional nuclear power plants, there is no connection with natural and artificial reservoirs.
- Radioactive emissions into the atmosphere are practically excluded due to the accident-free design of the pool-type reactor plant.
- No impact on soil and groundwater as a result of relevant design solutions.
- No noise pollution.
- Landscape neutrality due to the small size of the DHNP and relevant architectural solutions.
- With a fuel cycle of 60 months, it is possible to consider the option of near-reactor storage of the fuel for the entire service life.
- Minimal logistics load on the surrounding transport infrastructure as a result of the high level of autonomy of the DHNP operation.

The environmental impact assessment can be carried out for a typical DHNP 2 x 50 MW, which could then be adapted for each NPP by linking it with its designated location.

Conclusion

Replacing heat capacities with emission-free ones in district heating systems in large and medium-sized cities in Finland is an urgent problem that currently does not have a clear solution. Provided that the legal framework on nuclear safety is updated, nuclear heating plants can be considered as a balanced solution to the problem.

DHNP 2 x 50 MW designed with the technical solutions of the RUTA-70 concept is considered as the optimal configuration that meets the needs of heat suppliers as well as the requirements of the Finnish nuclear safety legislation. The capacity of the unit of less than 50 MW allows to bypass the stage of making a Decision-in-Principle by the Parliament of Finland, and the flexibility in the range of 15-50 MW corresponds to seasonal fluctuations in heat energy consumption in Finland.

The high level of safety of DHNP RUTA-70 and rich operational experience of both pool-type and PWR reactors in Finland make it possible to pass the licensing stage of DHNP 2 x 50 MW by the national regulator STUK within four years and begin the construction of the first DHNP in Finland by 2028.

Bibliography

- [3] Energiategollisuus ry (Finnish Energy) 2020. Energy Year 2020, Heat supply, [Internet publication]
- [4] URL: https://energia.fi/files/5650/Kaukolampovuosi_2020_nettil_kj_paivitetty_20210318.pdf (Date of reference: 29.03.2021)
- [5] Energiategollisuus ry (Finnish Energy), Energy Year 2020, Electricity, [Internet publication] URL: https://energia.fi/files/4428/Sahkovuosi_2020_nettil.pdf (Date of reference: 29.03.2021)
- [6] Finnish Government. 2019 Programme of Prime Minister Sanna Marin's Government 10 December 2019 INCLUSIVE AND COMPETENT FINLAND – a socially, economically and ecologically sustainable society. [Internet publication] URL: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN_2019_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y, (Date of reference: 28.02.2021)

- [7] Baranaev, Yu. D., Osennikh, G. M., Sergeev, Yu. A., Mikhan, V. I., Romenkov, A. A., "Project of demonstration nuclear heating plant using pool-type water reactor" Nuclear heat applications: Design aspects and operating experience (Proceedings of four technical meetings held between December 1995 and April 1998) IAEA-TECDOC-1056, Vienna, 1998.
- [8] К.К. Айгожиев, Ю.Д. Баранаев, А.П. Глебов «Проект бассейнового реактора РУТА для теплоснабжения и использования в качестве источника нейтронов» Сборник докладов конференции «Исследовательские реакторы: наука и высокие технологии» 29-25 июня 2001 г., г. Демитровград
- [9] Ю.Д. Баранаев, А.П. Глебов, А.В.Клушин «Реализация Современных наукоемких технологий в проекте бассейнового реактора РУТА», доклад на конференцию РАЕ 6-5 декабря 2005г.,г. Москва.
- [10] Ю.Д. Баранаев «РУТА- ядерная установка бассейнового типа мощностью 70МВт для теплоснабжения и опреснения морской воды», доклад на встрече специалистов «ГНЦ-РФ ФЭИ» и Института ядерной энергетики Китая 2014 21.12-15г. г.Ченду, КНР.
- [11] Ю.Д.Баранаев, А.П.Глебов «Бассейновый реактор РУТА-безопасный и экономичный источник теплоснабжения», доклад на «Нейтроника2017 1.12-29.11 «2017-г. Обнинск.
- [12] IAEA 2006. Fundamental safety principles: safety fundamentals. [Internet publication]– Vienna: International Atomic Energy Agency, URL.: www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1273_web.pdf (Date of reference: 26.03.2021).
- [13] STUK, 2019 Guideline YVL B.4 Ydinpoltoaine ja reaktori [Internet publication] URL: www.stuklex.fi/fi/ohje/YVLB-4 , (Date of reference: 28.02.2021).
- [14] The Parliament of Finland 1987, Nuclear Energy Act 990/1987 [Internet publication] URL:www.finlex.fi/en/laki/kaannokset/1987/en19870990?search%5Btype%5D=pika&search%5Bkieli%5D%5B0%5D=en&search%5Bpika%5D=Nuclear%20energy

Authors



M.Sc. Roman Polin
Project Manager
Scandia Protech Oy
roman.polin@scandia-protech.com



Cand.Sc. (Tech.) Aleksander Glebov
Senior Researcher
Institute for Physics and
Power Engineering
glebov@ippe.ru



M.Sc. Juri Baranaev
Leading Researcher
Institute for Physics and
Power Engineering



M.Sc. Irina Moskovchenko
Chief of Laboratory
Institute for Physics and
Power Engineering
idemeneva@ippe.ru

Kuinka muistaa loppusijoituslaitos 2200-luvulla? Kansainvälistä tutkimusta tiedon säilyttämisestä

Petri Paju
Turun yliopisto

Loppusijoitusta koskevan tiedon säilyttäminen oli keskeinen aihe, kun Nuclear Energy Agency toteutti laajan tutkimushankkeen ”Preservation of Records, Knowledge and Memory Across Generations initiative” vuosina 2011–2019. Sen tuotokset luovat ajantasaista perustaa keskustelulle ydinvoiman rauhanomaisen käytön jättä-
mästä ”ikuisesta” perinnöstä eli siitä, kuinka tietoja ja muistoa käytetyn ydinpolttoaineen hautaamisesta tulisi
vaalia ja ylläpitää kauas tulevaisuuteen. Sikäli kun koko kysymys on Suomessa toistaiseksi jäänyt vähälle huo-
miolle, NEA:n ratkaisuehdotuksilla on ehkä erityisen paljon annettavaa juuri suomalaisille ydinalan toimijoille.

They focused on the preservation of knowledge about the final disposal of spent nuclear fuel when Nuclear Energy Agency implemented a large research project called “Preservation of Records, Knowledge and Memory Across Generations initiative” during 2011–2019. Deliverables of the project provide an up-to-date ground for dis-
cussions on the “eternal” legacy from peaceful uses of nuclear energy, i.e., how knowledge and memory of dis-
posal of spent nuclear fuel should be maintained far into the future. Since the question has received limited at-
tention in Finland, the solutions proposed by the NEA may prove valuable for Finnish stakeholders.

Suunnitelmien mukaan Suomessa aloitetaan ensimmäisenä maailmassa korkea-aktiivisen ydinjätteen loppusijoitus syvälle maan alle. Siihen näh-
den joitakin tämän tulevaisuuden sukupolvien perinnön puolia on täällä
pohdittu rajallisesti, ellei suorastaan niukasti. Tällainen kokonaisuus on
tiedon säilyminen ja loppusijoituslaitoksen muistettavuus kauas tulevai-
suuteen. Nämä teemat olivat keskiössä Nuclear Energy Agency:n (NEA)
kansainvälisessä tutkimushankkeessa, joka keskittyi tallenteiden, tiedon
ja kokemusten sekä muiston säilyttämiseen loppusijoituslaitoksesta.

Aiheeseen on hiljattain kiinnitetty huomiota Suomessakin. Työ-
ja elinkeinoministeriön johdolla on valmisteltu ydinjätehuollon päivi-
tetty kansallinen ohjelma, ”Käytetyn ydinpolttoaineen ja radioaktiivi-
sen jätteen huolto Suomessa”. Se julkaistaneen vielä vuonna 2021.
Ohjelmassa kirjoitetaan: ”Loppusijoitusta koskevien tietojen pysyvistä
säilyttämisestä on hyvä käydä alustavia linjauskeskusteluja ja miettiä
soveltuvimpia menettelytapoja jopa satojen vuosien tietojen säilyttä-
mistarvetta silmällä pitäen. Lisäksi on hyvä jo hyvissä ajoin määritellä,
mitä tietoja on säilytettävä.” [1]

Samoin aihe on keskiössä uudessa tutkimushankkeessa, jonka
nimi on ”Ydinjätteen loppusijoitus ja yhteiskunnallinen muisti”. Siinä
tutkitaan sitä, kuinka ydinjätteen loppusijoituksen tiedon säilytystä ja
muistettavuutta kaukaisessa tulevaisuudessa on pohdittu aiemmin ja

nykyisin hahmotetaan erityisesti Suomessa. Se on osa Kansallista ydin-
jätehuollon tutkimusohjelmaa. Projekti aloitti KYT-ohjelmassa vuonna
2021. Tutkimusaineisto muodostuu haastatteluista ja valikoimasta kir-
jallista materiaalia.

Selvitän tässä artikkelissa, kuinka NEA:n Records, Knowledge &
Memory (RK&M) -hanke lähestyy loppusijoitusta koskevan tiedon säily-
tystä ja millaisia menetelmiä se ehdottaa vastaamaan tähän kauaskan-
toiseen haasteeseen. Kotimaisesta näkökulmasta yksi luonteva kysy-
mys kuuluu, että mikä tilanne tai asema Suomella on loppusijoituksen
tällä alueella. Käsittelen asiaa alustavasti tarkastelemalla, minkä verran
Suomi näkyy NEA:n laajasti ja syvällisesti aihetta kammanneen hank-
keen lopputuloksissa.

Kirjoituksen punaisena lankana seurataan NEA:n hanketta tuotok-
sineen. Esitellyt tiedon säilymisen kysymykset samoin kuin RK&M-
hankkeen tulokset ovat olennaisia myös laajemmin kuin korkea-aktiivi-
sen ydinjätteen loppusijoituslaitoksen kohdalla, sillä osin samantapaiset
haasteet koskevat myös tiedon säilyttämistä ydinlaitoksen käytöstä-
poiston jälkeen, muiden loppusijoitustilojen sulkemista ja ylipäänsä
ydinjätehuollon alan pitkää yhteiskunnallista (ja kulttuurista) perintöä,
etenkin ydinalan muistamista ja tietoisuuden säilyttämistä radioaktiivi-
sen jätteen vaaroista sukupolvelta toiselle.

Tietojen ja muistojen tallentamisesta ratkaisukeskeisesti

Tarkasteltava ”Preservation of Records, Knowledge and Memory Across Generations initiative” on viimeisin mittava loppusijoituksen tiedon säilyttämistä tutkiva ja kehittävä hanke. Se aloitettiin NEA:ssa vuonna 2011. NEA on OECD:n ydinenergiajärjestö, johon Suomi kuuluu. Hankkeen käynnisti järjestön jätekomitea eli Radioactive Waste Management Committee. Hankkeen taustalla ovat monissa OECD:n jäsenmaissa meillä olevat loppusijoituksen suunnitelmat ja järjestelyt sekä niihin liittyvä nykyihmisten vastuu tuleville sukupolville.

NEA:n hanke alkoi 2010-luvun alussa ja sen loppuraportti julkaistiin vuonna 2019 [2,3]. Suhteellisen pitkäkestoiseen ja laveaan hankkeeseen on kuulunut monenlaista tiedonkäsittelyä kuten kansainvälisiä työpajoja ja laajahkon konferenssin järjestäminen Verdunissa vuonna 2014, samannimisestä ensimmäisen maailmansodan taistelusta tunnetulla paikkakunnalla, jonne on rakennettu useita muistomerkkejä ja vaikuttava museo kertomaan menneisyyden traagisista vaiheista.

Verdunin tapaaminen on jäänyt asiantuntijoille muistiin myös Suomessa, vaikka kokonaisuutena NEA:n hanke olisi täällä vielä löytämättä. Työhön on eri reittejä ja vaihtelevissa määrin saatu kerättyä monialaista asiantuntemusta ydinalan konkareista esimerkiksi arkistojen museoalan ammattilaisiin ja taiteilijoihin asti. Aiheen työstäminen jatkuu edelleen NEA:ssa jatkotyöryhmässä ja sen alaryhmissä.

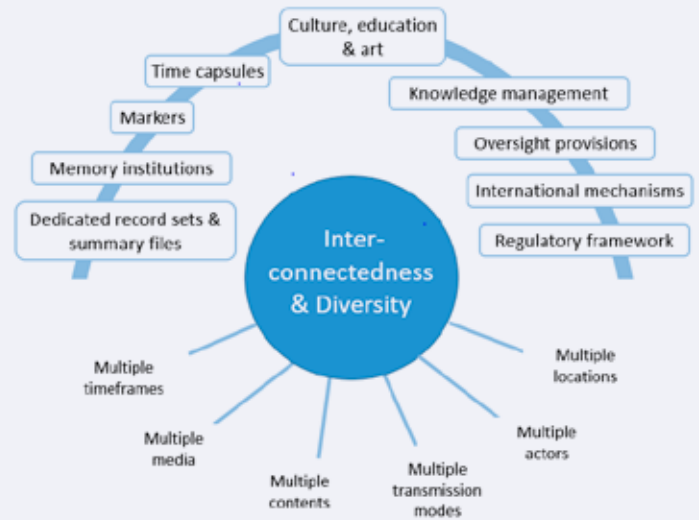
Kokonaisuutena kansainvälinen työryhmä on tehnyt tarpeellista analyysia sekä historiasta että nykyisestä tilanteesta, ja ehdotukset on valmisteltu selkeästi ja ratkaisukeskeisesti. Hankkeessa on laajasti huomioitu aiempaa tutkimusta, johon sisältyy 1980-luvulta alkaen useita mielikuvituksellisia ehdotuksia kuten atomipapisto ydinjätemuistin säilyttäjä, mutta myös paljon maanläheisiä ajatuksia esimerkiksi siitä, miten vastata tietoteknisten tallennusvälineiden nopeaan vanhenemiseen. Samalla työryhmän raporteissa on realistisesti ja määrätietoisesti tavoiteltu tulevia tiedon käyttäjiä.

Vuonna 2019 julkaistun loppuraportin lähtökohta edustaa päivitettyä linjausta: tavoitteeksi määritellään ei vain tunkeutumisen esto loppusijoituslaitokseen, vaan ennen kaikkea mahdollisimman pätevän informaation tai tiedon luotettava välitys tulevaisuuden sukupolville. Näin taataan, että he voivat turvallisesti tehdä omat ratkaisunsa. Olennaista on, että tiedot säilyvät ymmärrettävissä ja käytettävissä muodoissa mahdollisimman kauan.

Käsitteet muodostavat oman hetteikkönsä monimutkaisen kokonaisuuden osana samoin kuin niiden kääntäminen suomeksi. Olen tässä kääntänyt hankkeen päätermit – records, knowledge, memory eli RK&M – sanoilla tallenne, tiedot ja kokemus sekä muisto, mutta muitakin vaihtoehtoja ja termejä tulee harkita, kun on tarpeen puhua myös datasta, informaatiosta, tietämyksestä tai osaamisesta puhumattakaan muistamiseen liittyvistä näkökohdista. On kuvaavaa, että NEA:n hankkeen jatko-osassa (IDKM, Information, Data and Knowledge Management) fokus on laajempi ja keskiöön on valittu eri termit.

Systeminen strategia muistamiseen

Hankkeen keskeinen suositus tiedon säilyttämiseen on luoda systeminen strategia (systemic strategy), joka sopii ja mukautuu muuttuviin yhteiskunnallisiin, historiallisiin ympäristöihin, joita tulevaisuus varmasti tuo tullessaan joka puolella – esimerkiksi satojen ja tuhansien vuosien kuluessa. Toisin sanoen tarvitaan useiden aikatasojen (short, medium, long), viestien, tallennusvälineiden, välitystapojen, eri toimijoiden ja paikkojen käyttöä ja yhdistämistä, joilla varmistetaan riittävä päällekkäisyys tiedon tallennuksessa ja muistin ylläpidossa.



Kuva 1. NEA:n hankkeen ehdottamana systeeminen strategia tiedon säilyttämiseen ja loppusijoituksen pitkäkestoiseen muistamiseen sisältää yhdeksän lähestymistapaa, joita toteutetaan monipuolisesti ja -tasoisesti. Tiedon ja muiston säilytyksessä tärkeää on runsauden periaate [2, Figure 7.1].

Tulokset korostavat runsautta ja jopa liiallisuutta (redundancy) tallennuksen ohjenuorana. Jos tai kun jokin taso pettää tai unohtuu vuosien vieressä, se ei vielä vaikuta merkittävästi kokonaisuuteen. Enemmän säilytysmekanismeja vahvistaa turvallisuutta eli varmuutta tiedon säilytyksessä. Voidaan ajatella, että ratkaisu on läheistä sukua loppusijoituksen moniesteperiaateelle.

Säilytysstrategian rakentamiseksi työryhmä on koonnut yhdeksän laaja-alaista lähestymistapaa, joista kuhunkin on jaoteltu ja kuvattu eri menetelmiä. NEA:n eri lähestymistavat ovat: 1. dokumentaatio loppusijoituksesta, 2. muistiorganisaatiot, 3. markkerit, 4. aikakapselit, 5. kulttuuri, koulutus ja taide, 6. tietojohdaminen, 7. valvontakeinot, 8. kansainväliset mekanismit, 9. säännöt ja sopimukset (kuva 1).

Oleellinen tapa dokumentaation säilyttämiseen ovat työryhmän omat tallennuskeksinnöt, tietokokoelmat Set of Essential Records (SER) ja Key Information File (KIF), joista jatkan erikseen alempana. Muistiorganisaatioina esitellään arkistot, kirjastot ja museot, joista kunkin roolia aiheelle relevantin tiedon säilyttäjinä käsitellään ja eritellään raportin laajassa liitteessä systemaattisen taulukoinnin avulla. Liitteessä tuodaan esiin myös eri vaihtoehtojen erityisiä vahvuuksia ja välisiä yhteyksiä, minkä on tarkoitus auttaa pohtimaan sitä, mitkä menetelmät voisivat parhaiten toimia yhdessä.

Markkereihin tai muistomerkkeihin kuuluvat monumentit, erilaiset merkkipylväät tai vastaavat. Näitä ovat esimerkiksi Japanissa aiemmista tsunamideista muistuttavat varoituskivet, eri yhteyksissä kuvituksena tutut piikkipellot ja muut aineelliset jäljet (kuva 2).

Aikakapselien ideoidaan monenlaisia. Näkymätön aikakapseli voi olla loppusijoituspaikan läheisyyteen haudattu suuri kotelo, jonne on tallennettu tietoja ja esineitä. Kapseli voidaan suunnitella ennalta avattavaksi vaikka 200 vuoden päästä tai jättää mahdollisesti vahingossa löydettäväksi.

Kulttuuri, koulutus ja taide on ryhmitelty yhdeksi lähestymistavaksi, joka kattaa esimerkiksi niin (paikallis)historian tuottamisen, teollisuusperinnön vaalimisen kuin loppusijoitusalueen tai sen läheisen alueen vaihtoehtoiset käyttötavat. Näitä voisivat olla vaelluskohde, urheilu- tai

vierailukeskus. Toisin sanoen vaikkapa suomalaista lukijaa houkutel- laan miettimään, mihin käyttöön Olkiluodon alue voisi soveltua.

Kansainvälisiin mekanismeihin, joka on yksi lähestymistavoista, kuuluvat esimerkiksi kansainväliset sopimukset, tietokannat ja muut ohjelmat kuten mahdollinen erityisalan kansainvälinen arkistointikeskus. Kaksi lähestymistapaa keskittyy tietojohdantamiseen (knowledge management) ja sopimuksiin sekä sääntöihin (regulatory framework). Jälkimmäisessä käsitellään ydinsulkusopimukseen perustuva ydinma- teriaalivalvonta, safeguards. Vaikka se onkin mukana raportissa, niin samalla sitä tunnutaan pidettävän hieman erillisenä kokonaisuutenaan.

Loppuraporttiin syventyessä huomaa, että NEA:n työryhmä on si- sälyttänyt siihen monenlaista tärkeää, kuten esimerkkejä tiedon häviä- misestä ja vaaroista tiedon jatkuvuudelle. Raportissa muistetaan myös aihetta koskevat lait ja sääntelykysymykset, jotka vaihtelevat maittain suuresti, sekä aiemmassa tutkimuksessa lähes sivuutetut kustannuk- set, joita relevantin tiedon seulonta ja säilytys väistämättä synnyttää.

Milloin aloittaa?

Oleellinen kysymys on, että milloin tietoa tulee alkaa kerätä ja tallen- taa. NEA:n työryhmän mukaan monet menetelmät on syytä aloittaa jo ennen loppusijoituslaitoksen käyttöä (pre-operational phase), mutta toisaalta osa käytön aikana ja osa voidaan toteuttaa laitoksen sulke- misen yhteydessä tai jälkeen, kuten jotkin markerit [2, s. 176 yh- teenvetotaulukko]. Työryhmän loppuraportin painopiste on kuitenkin loppusijoituslaitoksen sulkemisen jälkeisessä ajassa, sen konseptien ja menettelyjen hahmottamisessa.

Tiedonkeruun kannalta olennaista on, että liian myöhään ei kannata aloittaa. Myöhästymisessä piilee vaaransa. Toimien järjestyksellä on myös väliä. Niinpä näiden menetelmien priorisointi lienee yksi kansal- lisen ja konkreettisen ratkaisutason, toteutuksen tehtävistä jatkossa.

Jos tämä kaikki kuulostaa kovin vaikealta ja vaivalloiselta, voisiko aloituksen siirtää myöhemmäs, sanotaan Sannin laulun sanoin vaikka 2080-luvulle? Sellainen ajatus on huono jo pelkästään siksi, että silloin jätetään huolehtimatta nykypolven eettisestä vastuusta tulevaisuuden ihmisille.

Aloituksen viivyttelyssä riskinä on ainakin se, että jotakin tietoa, jota



Kuva 2. Tsunamikivi vuodelta 1933 on eräänlainen muistomerkki tai markkeri. Varoituskiviä on Japanissa pystytetty rannikon läheisyyteen kertomaan siitä, mihin saakka aiemmat tsunamiaallot ovat yltäneet, ja varoittamaan rakentamasta taloja rajan alapuolelle (kuva: T. Kishimoto, Wikipedia. CC BY-SA 4.0).

olisi voinut tai tullut kerätä varhaisessa vaiheessa, ei enää ole saatavilla, kun sen tarpeellisuuteen havahdutaan. Samoin jos myöhemmin huo- mataan jonkin tiedon tarpeellisuus, niin sen käyttökuntoon järjestämi- nen tai palauttaminen sekä mahdolliset muut välttämättömät toimen- piteet voivat tulla kalliiksi, esimerkiksi huomattavasti hintavammaksi kuin aiempi reagointi.

Toki tällaista saattaa tapahtua väistämättä: on vaikea tai mahdoton ennakoida kaikkia suhteellisen läheisenkään tulevaisuuden tietotarpei- ta. Siksi jo esitelty runsauden periaate on hyvä johtotähti loppusijoitusta koskevan tiedon tallennuksessa.

Väistämättä tiedon säilytystä ja muistettavuuden ylläpitoa tulee tar- kastella ja uudistaa väliajoin. Kaikki tämä vaatii erinäisiä toimenpiteitä useilta tahoilta pitkälle tulevaisuuteen.

Data on toisaalta ajankohtainen hallintahaaste. Samanaikaisesti toi- nen NEA:n tutkimushanke tarttui päivänpolttaviin haasteisiin loppusijoi- tusta koskevan tiedon massojen kanssa. Tähän on vastannut erillinen metadata-projekti nimeltään Radioactive Waste Repository Metadata Management (RepMet).

Työryhmän ehdotukset tallennusratkaisuksi: SER ja KIF

Hanke on keksinyt ja esittänyt kaksi keskeistä käsitettä tietojen tal- lentamiseen ja muistin ylläpitoon: SER ja KIF (kuva 3). Edellinen on suunnattu tietoa tarvitseville ammattilaisille ja jälkimmäinen tarkoitettu laajalle yleisölle eli kenelle tahansa. Näiden rakentamista on ryhmässä pohdittu antaumuksella.

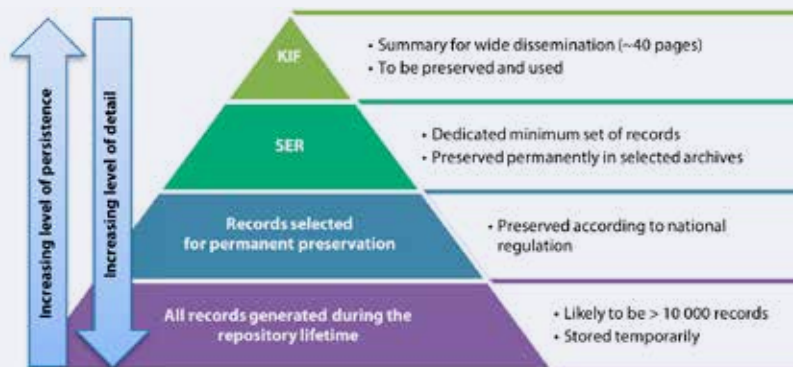
Set of Essential Records on tärkeiden tallenteiden kokoelma. SER on suunniteltu kokoelmaksi todellisista tietueista tai tallenteista (re- cords). Siihen valitaan tiedot, joita tulevat sukupolvet tarvitsevat, jotta he ymmärtäisivät loppusijoitusjärjestelmän ja sen toiminnan, ja jotka auttavat heitä tekemään tietoon perustuvia päätöksiä. Hankkeen jul- kaiseman erillisen SER-raportin ohjeita on täydennetty liitteillä, jotka havainnollistavat kuinka valita tietoja tai tallenteita, joista SER koostuu. Erilliseraportin pituus liitteineen lähentelee 90 sivua.

Key Information File eli avaintiedot tai -tiedosto syntyi tarpeesta tiivistää kansallisten ydinjätehuollon ohjelmien laajat aineistomäärät kompaktiin muotoon. Konseptia ehdotetaan tärkeäksi osaksi RK&M-säilytysstrategiaa. KIF on suunniteltu yhdeksi lyhyeksi asiakirjaksi, joka on laadittu vakioidussa muodossa ja jonka tarkoituksena on antaa yhteiskunnalle mahdollisuus ymmärtää arkiston luonne ja tarkoitus, ja siten vähentää todennäköisyyttä ihmisten tarpeettomalle tunkeu- tumiselle loppusijoitustilaan. Asiakirjan pitäisi olla julkisesti saatavilla ja lopulta laajasti jaettu. Erillisessä, 62-sivuisessa KIF-raportissa on luonnosteltu esimerkkiasiakirjoja muutamasta loppusijoituslaitoksesta kuten Ruotsin Forsmarkista.

Paljon tietoa koottuna

NEA:n hankkeen loppuraportti on nimeltään Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M) Across Generations: Final Report of the RK&M Initiative [2]. Työryhmän lopputuotoksiin lukeutuu vuo- den 2019 loppuraportin lisäksi kolme sitä tukevaa dokumenttia. Omat raporttinsa on tehty niin SER- ja KIF-konsepteista kuin aihepiirin ai- emmasta tutkimuksesta. Selvitys eri maiden säännöstöistä on vielä julkaisematta.

Hankkeen työntekijät ovat koonneet tutkimusalueen kannalta rele- vantin tutkimuksen bibliografiaan [3], jonka viides ja viimeisin versio on julkaistu huhtikuussa 2018. Siinä luetellaan erilaiset julkaisut RK&M-hankkeen (varmaan vaikeuksien kautta) rajaamasta aihepiiristä ja an- netaan lyhyt kuvaus artikkelin tai kirjan sisällöstä.



Kuva 3. Avaintiedot (KIF) ja tärkeiden tallenteiden kokoelma (SER) suhteessa toisiinsa ja koko loppusijoituksen tieto- ja datamäärään NEA:n hankkeen hahmottelemana [2, Figure 5.1]. Näiden lisäksi tulee muutakin tietoa säilyttää pysyvästi kansallisen säännösten tai sopimuksen mukaan.

Jatkotyölle tärkeässä ja tiedoltaan rikkaassa bibliografiassa Suomi, eli tarkemmin ”Posiva, Finland”, on mukana sen verran, että ruotsalaisessa tutkimuksessa mainitaan tapaustutkimus Vuojoen kartanosta. Vincent lalentin jotkin tutkimukset Suomesta kuten kirja Deep time reckoners (2020) puolestaan ovat sen verran uusia, että ne eivät ole ehtineet ehdolle tuohon dokumenttiin.

Bibliografia sekä muut dokumentit ovat avoimesti saatavilla NEA:n kotisivuilta. Näiden lisäksi NEA:n hanke on julkaissut useita muitakin erillisraportteja eri teemoista, joita on käsitelty seminaareissa tai konferensseissa tai tutkittu erikseen hankkeen työskentelyn tueksi.

Hankkeen tekemää työtä on NEA:ssa jatkettu aloitteessa nimeltä ”Information, Data, Knowledge Management (IDKM)” [4]. Syksyllä 2020 työryhmä perusti alaisuuteensa neljä asiantuntijaryhmää seuraamaan esimerkiksi turvallisuusperustelun datan ja tiedonhallinnan strategian kehitystä ja arkistointia ydinjätehuollon alalla. Näiden teemaryhmien jatkotyötä on epäilemättä vaikeuttanut koronapandemia.

Suomen sekä Ruotsin roolit

Suomesta NEA:n hankkeessa oli mukana rahoittajana Säteilyturvakeskus, mutta ei muita ydinalan toimijoita. Vertailun vuoksi esimerkiksi Ruotsista oli valvojan (SSM) lisäksi mukana esimerkiksi SKB, siis Suomen Posivaa vastaava organisaatio, sekä Ruotsin kansallisarkisto. Käytännössä Suomi osallistui melko kevyesti ja sisällöllisesti ikään kuin tarkkailijana.

Alkuvaiheen workshopissa, josta koottiin julkaisu Scoping the issue (2012), keskusteltiin Into Eternity -dokumenttielokuvasta, joka tunnetusti kuvaa Onkalon vaiheita ja oli tuolloin vielä hiljattain julkaistu ja hyvässä muistissa, Suomi mainiten. Samoin kerrottiin tiedon säilytyksen sääntelyä koskevasta taustakyselystä, johon Suomi (STUK) oli vastannut.

Konferenssiin Verdunissa vuonna 2014 [5] osallistui yksi henkilö Suomesta, joka oli samalla Posiva Oy:n edustaja. Hän myös julkaisi posterista kertovan tekstin konferenssijulkaisussa. Ruotsista mukana oli reilut 20 henkeä yhdestätoista eri organisaatiosta ydinalalta kuntiin, järjestöihin ja yliopistoihin.

Muissa raporteissa lukija saa etsiä Suomea turhaan. On merkilepantavaa, että maa jossa toimii ”maailman johtava loppusijoittaja”, loistaa NEA:n tulevaisuuteen kurottavan hankkeen dokumenteissa lähinnä poissaolollaan. Sen sisällössä tai bibliografiassa ei näy jälkeäkään

(edellämainittua poikkeusta lukuunottamatta) Suomen kokemuksista, suomalaisia toimijoita tai kirjoituksia suomalaisilta millään kielellä.

Loppuraportista löytyy tosin kaksi alaviitettä, joissa mainitaan elokuva Into Eternity, mutta sen yhteys suomalaisten ajatuksiin jää piiloon. Kiinnostavasti Michael Madsenin elokuvassa vuodelta 2010 korostuu mahdollisuus ja tietynlainen houkutus lopulta unohtaa koko Onkalo. NEA:n tuloksissa unohtaminen torjutaan epäluotettavana lähtökohtana ja tavoitteena.

Jälleen vertaaminen esimerkiksi Ruotsiin tuottaa aivan toisenlaisen tuloksen, ja ruotsalaisten julkaisut ovat dokumenteissa hyvin edustettuina. Toki mukana on myös aiempia yhteispohjoismaisten hankkeiden tuotoksia, mutta niissäkin Suomi on ollut takarivissä ja Ruotsi niin sanottu kuskien paikalla ainakin julkaisutoiminnasta päätellen [6].

Suomen hyväksi on mainittava, että kaikesta päätellen Ruotsi lukeutuu tämän aihepiiriin tutkijana aktiivisimpiin maihin. Tästä maiden erilaisesta kontribuutiosta ja sitoutumisesta kertoo, että Ruotsissa näitä NEA:n kokoamia ajatuksia on myös esitelty ja käsitelty tapahtumissa [7], mutta tietääkseni tämä kirjoitus on ensimmäinen, jossa hankkeen tuloksia avataan Suomessa tai suomeksi.

Ruotsin tutkijat tuovat esille ja yhteiseen pöytään monenlaisia pohdintoja samantapaisesta maasta, jonka kanssa Suomi on usein tehnyt onnistunutta yhteistyötä ja ottanut vaikutteita – tunnetusti ei vähiten ydinjätteen loppusijoituksessa. Naapurukset jakavat pitkän historian ja yhteiskunnallisen kehityksen, joka on tuottanut yhteneväisiä muistamisen ratkaisuja, joskin erojakin on varmasti ehtinyt syntyä viimeisten parin sadan vuoden kuluessa. Toisaalta maiden ydinvoima- ja ydinjätteskusteluissa on vissit eronsa, jotka tulee huomioida. NEA:n hanke painottaa, että muistamisen ratkaisut ovat paljossa riippuvaisia kontekstista eli esimerkiksi kansallisesta ympäristöstä.

Minkä tahon vastuu ja kuinka tästä eteenpäin?

NEA:n hankkeen loppuraportti vuodelta 2019 ja sen oheisjulkaisut asettavat tarjolle laajan kattauksen aivoruokaa loppusijoituksen tiedon säilyttämisestä. Runsaasta ajatusten ja ideoiden, ehdotusten ja menetelmien buffet-pöydästä kukin maa ja yksittäinen taho voi alkaa rakennella omaa annostaan eli ratkaisuja tiedon säilyttämisen haasteisiin.

Kansallinen taso on keskeinen NEA:n hankkeen ehdottaman systemaattisen strategian toteutuksessa, jos ja kun loppusijoitus hoidetaan

kansalliselta pohjalta, mutta olennaisia ovat myös kansainvälinen ja paikallinen taso. On tarpeen tai vähintään hyödyksi tunnistaa jo aloitettuja ja olemassaolevia mekanismeja, jotka tekevät tai tukevat loppusijoituksen tietojen tallennusta.

Yhteenvetäen voi arvioida, että NEA:n hankkeen työ muodostaa erinomaisen perustan jatkaa tai aloittaa (uudelleen) keskustelua aiheesta. Keskustelun avulla ja lisäksi voidaan kerätä muuta materiaalia, vertailla ehdotuksia esimerkiksi IAEA:n tekemään suunnittelutyöhön sekä ydinmateriaalivalvonnan alueella tehtävään tutkimukseen tiedon säilyttämisestä. Onkin syytä korostaa, että ydinmateriaalivalvontaa koskevassa tiedon säilytyksessä suomalaiset ovat painokkaasti mukana [8, 9].

Ymmärrettävän haasteen ja rajoituksen NEA:n ehdotuksille heittää yhteiskuntien ja ihmisten totunnainen suunnitteluhorisontti. Mikä nykyinen taho vastaa asioista 2200-luvulla tai vuonna 3000? Vastausta vaille jäävä kysymys kertoo ydinalan ajallisen jäljen poikkeuksellisesta kestosta. Samalla asian kysyminen osoittaa, että ainakin ydinala ottaa vastuunsa tuleville sukupolville tosissaan.

Suomessa vastuu loppusijoitetuista korkea-aktiivisista ydinjätteistä kuuluu nykyisen arvion mukaan noin vuoteen 2130 saakka luvanhaltijalle eli Posiva Oy:lle. Loppusijoitustilojen sulkemisen jälkeen vastuu siirtyy valtiolle. Nykytilanteen mukaan molemmilla tahoilla, Posivalla ja valtion puolesta aluksi Säteilyturvakeskuksella, on osansa siinä, että tiedot ydinjätteestä säilyvät kauas tulevaisuuteen.

Suomessa loppusijoitusta koskevan tiedon (muttei muistojen) säilyttämisessä on vedetty joitakin yleisiä suuntaviivoja. On kiinnostavaa jatkossa selvittää, kuinka suomalaiset asiantuntijat ovat pohtineet näitä aiheita, ovatko he kenties keksineet ratkaisuja, ja mikä tekee kotimaisen tilanteen ymmärrettäväksi. Alussa mainittu merkintä linjauskeskusteluista, mikä lause sisältyy ydinjätehuollon päivitettyyn kansalliseen ohjelmaan, on joka tapauksessa paikallaan ja tarpeellinen havahdutus kotimaisille toimijoille.

NEA:n tutkimustulosten perusteella kansallisesti tarvitaan monia toimijoita, yhteistä keskustelua ja yhteistyötä sekä riittävän varhain sovitut selkeitä ratkaisuja ja menetelmiä. Niiden avulla loppusijoituslaitos pysyy mahdollisimman turvallisesti tiedossa ja muistissa niin 2200-luvulla kuin pitkään siitä eteenpäin.

Viitteet

- [1] Käytetyn ydinpolttoaineen ja radioaktiivisen jätteen huolto Suomessa. Työ- ja elinkeinoministeriö. Luonnos, elokuu 2021.
- [2] Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M) Across Generations: Final Report of the RK&M Initiative. OECD Nuclear Energy Agency, Paris 2019.
- [3] Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M) Across Generations. Reference Bibliography. OECD Nuclear Energy Agency, Paris. April 2018.
- [4] Information, Data and Knowledge Management (IDKM) Roadmap. OECD/NEA, Information, Data and Knowledge Management Working Party, October 2019.
- [5] Radioactive Waste Management and Constructing Memory for Future Generations: Proceedings of the International Conference and Debate, 15-17 September 2014 Verdun, France. OECD, Paris 2015.
- [6] Jensen, Mikael. Conservation and Retrieval of Information: Elements of a Strategy to Inform Future Societies about Nuclear Waste Repositories. NKS, Roskilde 1993.
- [7] Pettersson, Carl-Henrik & Bratt, Annika: Redovisning av regeringsuppdrag om metoder för säkerställande av information och kunskap över lång tid för slutförvaret för kärnbränsle. Strålsäkerhetsmyndigheten 24, 2021 (julkaistu 3.10.2021).
- [8] Paju, Petri: Ydinsulku ja Suomi. 50 vuotta ydinsulkusopimuksen kansallista toimeenpanoa. STUK TR 32. Säteilyturvakeskus, Helsinki 2020.
- [9] Paju, Petri: Atomipapiston jäljillä. Ydinjätehuollon tulevaisuusajattelua 1980-luvulta. Kulttuurihistorian blogi. Julkaistu 10.9.2021.

Kirjoittaja



Petri Paju

FT, dosentti

KYT-hankepäällikkö

”Ydinjätteen loppusijoitus ja yhteiskunnallinen muisti”

Turun yliopisto

petri.paju@utu.fi



Kapinaan kansalaiset

SEURATESSA NYKYISTÄ ENERGIAPOLIITTIKAA, joka kyselee ydinvoiman ja ydinkaukolämmön perään, herää väistämättä kysymys: miksi energiapolitiikkaan ei saada jotain järkeä? Reilu kymmenen vuotta sitten odoteltiin lupaa ja Fortum olisi rakentanut nopeasti ydinvoimalaitoksen. Tuo suunniteltu Loviisan kolmas yksikkö olisi tuottanut halvalla ja ilman kasvihuonekaasuja huomattavan osan pääkaupunkiseudun kaukolämmöstä. Myös kaukolämpötunnelin kustannukset olivat tiedossa. Loviisan kolmosyksikkö olisi nyt käynnistymässä. Poliittinen valtapeli ja päättäjille syötetyt valtuutiset kaatoivat koko hankkeen.

Nyt pelurit kaipaavat uutta ydinvoimaa, senhän rakentaminen Suomeen on helppoa. Tilanne Suomessa on vain paljon vaikeampi kuin 1970-luvulla, jolloin käyivät ydinvoimayksiköt rakennettiin. Ydinvoiman laitostomittajat ovat menettäneet osaamisensa, kun

laitoksia ei ole rakennettu koko Eurooppaan eikä konventionaalisen energiarakentamisen oppeja voi enää soveltaa.

Omistajan kyky rakennuttaa ydinvoimavoimalaitos on olematon. Kyetään ostamaan laitos, kunhan se saadaan mallista riippumatta ”avaimet käteen”-periaatteella. Vuosia yritykset ovat hakeneet uusia henkilöitä työskentelemään ”key account manager”-tittelillä. Onkohan kyseessä tuo hankkeista saatujen avainten laskija?

Talon tai maantien rakennuksesta tuttua alkupään aakkosia laskevaa projektien sopimusmallia tarjotaan innolla. Taloa rakentaessa tilaukset pilkotaan halvoiksi aliurakoiksi ja kustannukset karsitaan – laadun valvonta jää urakoitsijan sijaan asukkaalle. Jos asukas ei osaa ja ymmärrä, niin rakentamisen valvojaksi pyydetään tuttua, kokenutta rakennusmestaria? Mistähän ydinvoimaprojekti löytäisi tutun ”rakennusmestarin”, joka on rakenta-

Koulutusleirille pääsee kohta taas höyryjunalla!
(kuva: Denis Chick, Unsplash)

nut ja puuhastellut muutaman ydinlaitoksen Suomeen?

Ydinvoimaprojektin esittely johdolle ja rahoittajille tapahtuu teknisiä yksityiskohtia välttämättä ja päiväkodista tutulla liikennevalometodilla. Valot ovat jatkuvasti punaisella ja homma ei oikein etene, kun leluista on hiekkalaatikolla pulaa. Ei ihme, että aikuiset rahoittajat uskovat enemmän vetyyn ja tuuleen.

Oikean aikataulun voisi tehdä jo projektin alussa, jos ymmärrys laitosprojektiin teknisistä syy-seuraus-suhteista ei olisi kadonnut. Ydinvoiman viranomaisvaatimukset ja hyväksynnät taas eivät noudata mitään aikataulua tai edes loogista jatkumoa. Ne elävät omaa elämäänsä. Pienreaktoreille haaveiltu lyhyt rakentamisaika ei ole mahdollista repimättä ja polttamatta viranomaisohjeita. Onko viranomaisohjeiden tuhoaminen reaktorissa suunniteltu osa pienreaktoriprojektia?

2000-luvun alussa kiinalaiset täydensivät kanadalaisten toimittamaa Candu-laitoksen venttiivarsuunnitelmalla turvallisuusparannuksilla, mutta pitivät aikataulun normaalina. Myös ranskalaisten ja amerikkalaisten ydinlaitoshankkeita Kiinassa vauhdittivat kiinalainen projektijohto ja tehdyt teknologian luovutussopimukset. Länsi pelaa poliittista teatteria, jossa aasialaisten ydinvoimaprojektien tehokas tekniikkapohjainen johtaminen ja resurssiohjaus selitetään turvallisuus- ja laatu puutteilla. Se tuskin kantaa enää kauaa.

Vain muutama vilkaisu toimintamalleihin riittää kertomaan, miksi kaikki eurooppalaisessa ydinvoimalaitoshankkeessa kestää ja kestää, kun kiinalainen on jo valmis. Jos urakierto tapahtuu, niin Suomen 2000-luvun ydinvoimaprojekteissa oppineet ydinvoiman rakentajat laitettaneen Kiinassa koulutusleirille. Leirillä toistetaan kaiuttimista yötä päivää ydinvoimalaitosprojektin vaiheita ja aikataulua. Leirillä myös sovitaan tuloksesta palkitseminen. Lyhytjänteinen ranskalainen malli, kahden vuoden oleskelu projektissa ja ylenys kotimaassa, pestään pois mielistä.

Suomessa on kapinoitu useasti historian saatossa ja usein kapinassa syyttömät ovat kärsineet. Historiasta muistetaan nuijakapina ja punakapina. Niissä syyttömät kärsivät ja molemmissa vastakkain olivat rikkaat ja köyhät – siis eri yhteiskuntaluokat. Näistä luokkasodista käytetään usein nimitystä sisällissota.

Nykypäivänä meillä on erilaista kapinaa: rikkaat kapinoivat verotusta vastaan siirtämällä rahansa veroparatiiseihin ja vihertävä kaupunkinuorisio kapinoi lihansyöntiä ja ympäristön tilaa vastaan kaduilla elokapinassa. Demokraattisen järjestelmän periaatteista irtautuvat kapinat päättyvät tarkoituseristään riippumatta huonosti. Kaduille levittäytyvät yhtä asiaa ajavat kansanjoukot tarkoittavat ehkä hyvää, mutta painostuksen hyväksyminen murtaa demokratian. Demokratian murruttua jotkut voivat joutua odottamaan juna viimeiselle leirille, keltaiset tähdet hihoissaan. Parantaako tilannetta, jos tähdet ovat vihreitä, juna on sähköjuna ja leirituomio on vihreän kansalaisfoorumiin jakama?

Tietoisuus eli sielu painaa 1900-luvun alun kokeiden perusteella vain 21 grammaa. Toisaalta monen poliitikon tietoisuus vaikuttaa olemattomalta, joten tuokin paino voi olla heidän kohdallaan liioiteltu. Toukokuussa vuonna 2009 yksi uutisista oli muuten se, että vihreätkin kertovat vitsejä. Maaliskuussa 2013 julkaistun tutkimuksen mukaan taas vihreät arvioivat, että heidän lehdessään saisi olla vähemmän huumoria.

Marraskuussa 2017 pääkaupungin kaupunginvaltuutettu oli löytänyt vihreän huumorin ja totesi metsässä eli maaseudulla asumisen ainoana syynä olevan henkilön taipumus insestiin ja vaimonsa pahoinpitelyyn. Nyt vuonna 2021 menosta voi esittää kysymyksen, mitä eroa on Suomen hallituksella ja italialaisella mafialla? Ja vastata itse: toinen niistä on järjestäytynyt ja tekee hommansa huolella.

Onneksi tulevaisuus näyttää paremmalta kuin nykyisyys, ainakin jos uskomme super-

rikkaita verkkoyritysten perustajia. Heidän mukaansa metaversaalinen todellisuus, jossa käynnistetä täydellisen virtuaalimaailman oman kypäräsi sisään, on jo ovelta.

Tuossa keinomaailmassa voit vaeltaa vieraisiin maihin, avaruuteen tai kuvitteelliseen pelimaailmaan, joka avautuu kaikkialla ympärilläsi täydessä mittakaavassa. Voi nähdä ja kuulla kaiken – ehkä joskus myös haisua, maistaa ja koskettaa kaikkea. Ehkä tulevaisuudessa työelämässä uupuneet eivät palauta itseään mökillä tai lapsuuden luontomaisemassa vaan lapsuuden huolettomassa virtuaalimaailmassa!

Ydininsinööri

Palautusosoite:

Suomen Atomiteknillinen Seura
PL 78
02151 ESPOO

Osoitteenmuutokset:

sihteeri@ats-fns.fi



KANNATUSJÄSENET

A-Insinöörit Civil Oy

**Pohjoismainen
Ydinvaruutuspooli**

TVO Nuclear Services Oy

Fennovoima Oy

Pohjolan Voima Oyj

Voimaosakeyhtiö SF Oy

FinNuclear ry

Posiva Oy

Westinghouse

**Fortum Power
and Heat Oy**

**Teknologian
tutkimuskeskus VTT Oy**

Platom Oy

Teollisuuden Voima Oyj